

Herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee (2002-2006).

Inventarisatie van bestaande kennis, selectie van locaties en plan van aanpak.

15 oktober 2002

M.M. van Katwijk¹

S. van Pelt¹

N. Dankers²

¹Afdeling Milieukunde

B-Faculteit

Katholieke Universiteit Nijmegen

Postbus 9010

6500 GL Nijmegen

²Alterra

Postbus 167

1790 AB Den Burg

Dankwoord

Bij de nadere invulling van het plan van aanpak en de inventarisatie van bestaande kennis is informatie verkregen van en overlegd met: Dick de Jong, Marco van Wieringen, Jeanine Olsen, Meindert Otter, C. den Hartog, Daan Bos, Bart Ebbinge, Mardik Leopold, Peter Meininger, Ben Koks, Bruno Ens, Rob Dekker, Ivan Nagelkerken, Karin Hermus, Martin Versteeg, Bert Brinkman, Leo Zwarts, Joop Ouborg, Jan Vermaat.

Bij de selectie van de locatie Balgzand waren betrokken: Victor de Jonge, Dick de Jong, Jakob Asjes, Marco van Wieringen, Norbert Dankers, Jaap de Vlas, Karel Essink, Albert Oost en Marieke van Katwijk. Bij de selectie van locaties op het Balgzand waren betrokken: Zwanette Jager, Norbert Dankers, Jaap de Vlas, Dick de Jong, Meindert Otter, Albert Oost, Stan van Pelt en Marieke van Katwijk. Wij zijn Roland Koolhaas, Jan van Dijk, Dirk Kuiper, Koos Zegers, Arjen Kikkert, Kim Lotterman en Horst Wolter heel dankbaar voor hun ondersteuning hierbij.

Marco van Wieringen, Zwanette Jager, Dick de Jong, Jaap de Vlas, Karel Essink, Aante Nikolai, Sytze Braaksma hebben het manuscript van opbouwend commentaar voorzien. Allen dank!

Veel dank ook aan Berend Frederiks en Marco van Wieringen voor het aanleveren van de grafieken voor Bijlage 2, en Dick de Jong voor het aanleveren van de zeegraskansenkaart ('zeegraspotentiekaart').

Voorts bedanken we Marie-Louise Meijer, Gert-Jan Rotmensen, Gijs Doeglas, Rein Lehmann, Adelbert Smal, Piet Nienhuis, Sjoerd Wendelaar-Bonga, Lucien Hanssen en degenen die boven genoemd worden bij de selectie van de locatie Balgzand, voor hun betrokkenheid bij het project en/of de voorbereidingen van dit project.

Colofon

*Van Katwijk MM, van Pelt S,
Dankers N (2002). Herintroductie
van Groot zeegras in de westelijke
Waddenzee (2002-2006).
Inventarisatie van bestaande kennis,
selectie van locaties en plan van
aanpak. Afdeling Milieukunde,
Katholieke Universiteit Nijmegen.*

*Opdrachtgever: Rijksinstituut voor
Kust en Zee (RIKZ) en
Rijkswaterstaat Directie Noord-
Holland (RWS DNH)*

*Uitvoering: Katholieke Universiteit
Nijmegen (KUN) en Alterra*

*Kader: Maatregelenprogramma
Waddenzee, maatregel N17*

*Stuurgroep: Z. Jager (RIKZ), G.
Rotmensen (RIKZ), M. van
Wieringen (RWS DNH), M. van
Katwijk (KUN), R. Bout (KUN)*

*Begeleidingscommissie: leden van de
stuurgroep en voorts D. de Jong
(RIKZ), J. de Vlas (RIKZ), N.
Dankers (Alterra), K. Essink
(RIKZ), S. Braaksma (LNV Dir.
Noord), A. Nicolai
(Rijkswaterstaat Dir. Noord-
Nederland), S. van Pelt (KUN)*

Publicatiedatum: oktober 2002

Bijdragen van derden:

Figuur 3: J. van Beusekom

Figuur 6: A.. Brinkman (Alterra)

Bijlage 1: D. de Jong (RIKZ)

Bijlage 2: B. Frederiks (RIKZ)

Zie voorts dankwoord

*Contactpersoon: M. van Katwijk,
Afdeling Milieukunde, B-
faculteit, KUN, Postbus 9010,
6500 GL Nijmegen,
mvkatwyk@sci.kun.nl*

Inhoudsopgave

Dankwoord	2
Colofon	3
Inhoudsopgave	4
Samenvatting	6
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Waarom niet wachten op natuurlijk herstel?	10
1.3 Leeswijzer	11
2 Onderscheid in twee typen zeegras	12
2.1 Een flexibele en een robuuste vorm van Groot zeegras	12
2.2 Zonatie	13
2.3 Waarom focus op flexibele vorm?	13
2.4 Waarom focus op Zostera marina ?	14
3 Historie en keuzes	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Waarom is Groot zeegras verdwenen, en heeft het zich niet hersteld?	16
3.3 Eerste onderzoek naar waterkwaliteit en donorpopulaties	17
3.4 Eerste experimentele aanplanten mislukken	18
3.5 Waarom waren er onvoldoende zaailingen; hoe voorkomt men dit?	18
3.6 Waarom overleefden de planten alleen in een smalle zone?	21
3.7 Waterkwaliteit en waterdynamiek	21
3.8 Zeegraskansenkaart	21
4 Transplantaties in de rest van de wereld	23
4.1 Overzicht	23
4.2 Plantmethoden	23
4.3 Transplantatiesucces	24
5 Habitatieisen en situatie Waddenzee	25
5.1 Troebelheid	25
5.2 Nutriënten	25
5.3 Zoutgehalte	27
5.4 Interactief effect saliniteit en nutriënten	28
5.5 Water- en sedimentdynamiek	28
5.6 Visserij/pierensteken	29
5.7 Fauna	29
5.8 Verontreiniging	30
5.9 Locale factoren:	32
5.9.1 Laagje water, locale beschutting en sedimenttype	32
5.9.2 Plaatselijk laag zoutgehalte	32
5.10 Klimatologische factoren	32
6 Is een nieuwe transplantatie verantwoord?	35
6.1 Is de Waddenzee geschikt voor zeegras?	35
6.2 Welke donorpopulatie is geschikt?	35
7 Selectie aanplantlocaties	37
7.1 Criteria bij selectie van aanplantlocatie	37
7.2 Zeegrasgeschiedenis van het Balgzand	38
7.3 Vondst van <i>Ruppia</i> op het Balgzand	39
7.4 Locale selectie van aanplantlocaties	40
8 Visie op herintroductie.	42

8.1 Ruimtelijk: zonatie	42
8.2 Dynamiek.....	43
9 Plan van Aanpak.....	44
9.1 Inleiding.....	44
9.2 Uitwerking op hoofdlijnen.....	44
9.3 Waarom worden stekken gebruikt en geen zaden	46
9.4 Aanplant.....	47
9.4.1 Inleiding.....	47
9.4.2 Aanplant 2002 (Product c).....	48
9.4.3 Aanplant 2003 (Product d)	48
9.4.4 Aanplant 2004 (Product e).....	48
9.5 Stabilisatietechnieken (Product s en t).....	48
9.6 Zaadstengelbehoudtechnieken (Product u en v).....	49
9.7 Monitoren (Product p, q en r)	50
9.7.1 Monitoren aanplant Balgzand.....	50
9.7.2 Monitoren Mokbaai	50
9.7.3 Monitoren oude "aanplant" 1999.....	50
9.7.4 Monitoren donorpopulatie Hond/Paap	50
9.7.5 Monitoren stabilisatietechnieken.....	50
Literatuur	52
Bijlage 1. Zeegraskansenkaart.....	64
Bijlage 2. Doorzicht, zwevende stof en NH ₄	67
Bijlage 3. Verkenningen op het Balgzand.....	68

Samenvatting

Groot zeegras (*Zostera marina* L.) komt van oudsher voor in de Waddenzee. Vóór de dertiger jaren in de vorige eeuw ging het zelfs om 15.000 ha. De dieper gelegen zeegrasvelden werden gekenmerkt door een robuust type Groot zeegras. Dit is begin jaren 1930 uitgestorven. Rond NAP komen nog steeds zeegrasvelden voor, bestaand uit een flexibel type. Dit type zeegras is begin jaren 1970 uit de westelijke Waddenzee verdwenen, maar komt nog voor bij Terschelling, de Eemsmonding en de Duitse en Deense Waddenzee. De aanwezigheid van natuurlijke zeegrasvelden maakt onderdeel uit van het in de Planologische Kernbeslissing voor de Waddenzee verwoorde streefbeeld, en is tevens een van de 'ecotargets' in het kader van de trilaterale Waddenzeesamenwerking. Met ingang van 1998 is het project Herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee als maatregel N17 opgenomen in het Maatregelenprogramma Waddenzee.

Vanaf 1987 doet de overheid onderzoek naar de mogelijkheden voor herstel van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee, omdat natuurlijk herstel hoogst onwaarschijnlijk wordt geacht. Dit eerdere onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van verschillende onderdelen van Rijkswaterstaat: Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Directie Noord-Holland en Directie Noord. De uitvoering werd overwegend door de Katholieke Universiteit Nijmegen gedaan (KUN).

Begin 2002 werd een nieuw herintroductieproject gestart, geplande looptijd 2002-2006. Het project zal worden uitgevoerd door de KUN, Alterra en RIKZ, in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, waarbij opdrachtverlening aan KUN en Alterra door RIKZ geschiedt. Het onderhavige rapport bevat een inventarisatie van relevante bestaande kennis, een onderbouwing voor de selectie van aanplantlocaties en een plan van aanpak voor de herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee 2002-2006.

Waarom is Groot zeegras verdwenen en heeft het zich niet hersteld? In de dertiger jaren viel het verdwijnen van het robuuste type Groot zeegras samen met de aanleg van de afsluitdijk, het optreden van een ziekte en aan aantal jaren met minder zonlicht. Het heeft zich niet hersteld vanwege de toegenomen troebelheid en schelpdiervisserijactiviteiten. De afname van het flexibel type Groot zeegras begin jaren zeventig heeft waarschijnlijk ook te maken met de in die tijd verder toenemende troebelheid, schelpdiervisserij, en mogelijk eutrofiëring.

Is het milieu nu wel geschikt? Daar is een aantal aanwijzingen voor. Ten eerste is het water helderder geworden. Helder genoeg om zeegrasontwikkeling tot aan de laagwaterlijn mogelijk te kunnen maken. Ook zijn schelpdiervisserijactiviteiten in een aantal gebieden in de Waddenzee inmiddels verboden. De eutrofiëring is gestabiliseerd of iets afgenomen; fosfaat- en ammoniumbelastingen zijn verminderd.

Veld-, bassin- en laboratoriumstudies hebben onder andere uitgewezen dat er geschikte donorpopulaties zijn, bijvoorbeeld de Waddenzee-populaties bij Terschelling, de Eemsmonding en Sylt. Voorts dat Groot zeegras zich goed kan ontwikkelen in Waddenzee-water (afkomstig uit het Marsdiep), dat de planten een enigszins beschutte ligging nodig hebben, dat de planten gevoelig zijn voor ammonium, dat zoetwaterinvloed bevorderlijk werkt, en dat overwintering van kleine aanplanten moeilijk is. Dit laatste heeft te maken met toevallige klimatologische omstandigheden (zo is bijvoorbeeld een vroege kieming gevolgd door een late koudeperiode ongunstig), het wegdrijven van zaadhoudende bloeistengels (hoe groter de populatie, hoe groter de kans dat de stengels in het gebied behouden blijven) en een zorgvuldige locatiekeuze op lokale schaal: indien mogelijk in plaatselijke depressies waar een laagje water blijft staan tijdens laag water, eventueel plekken met lokale beschutting.

Bij de keuze van de aanplantlocatie wordt rekening gehouden met deze factoren. Ook moet de locatie een voormalige zeegraslocatie zijn. Het Balgzand (nabij Den Helder) voldoet als enige van alle mogelijke locaties in de westelijke Waddenzee aan alle criteria. Extra beschutting zal worden gecreëerd door de aanleg van mosselrichels. Ter vergelijking zal ook een zeegrasaanplant achter een natuurlijke mosselbank worden gedaan, in Mokbaai, Texel. Dit is geen voormalige zeegraslocatie, maar voldoet verder aan de criteria.

Mosselrichels en zeegrasvelden hebben in meerdere opzichten een gunstige invloed op elkaar. De luwtes achter de mosselrichels zorgen er namelijk voor dat de productiviteit van de plant hoger wordt, minder planten verloren gaan bij storm, meer losdrijvende zaadstengels in het gebied zelf blijven, modderige plekken ontstaan (fijnere textuur) waardoor kieming bevordert wordt, en de wadbodem langer vochtig blijft waardoor de planten zich beter kunnen ontwikkelen. Het aanleggen van mosselrichels is minder kunstmatig dan het misschien lijkt, als men bedenkt dat alle goed ontwikkelde mosselbanken in 1990 zijn weggevisd in de Waddenzee.

Om de grootte van de ingreep in het natuurgebied Waddenzee zoveel mogelijk te beperken, is in de opzet gekozen voor het ontwikkelen van een technologie waarbij slechts een paar kleine aanplanten nodig zijn. In totaal komt het neer op circa 6000 zaailingen. Dit betekent het verwijderen van circa 50 m² in een natuurlijk veld (uitgaande van een bedekking van 30 zaailingen per m²) in het tweede jaar, en in het derde en vierde jaar respectievelijk circa 90 en 35 m².

Op basis van de aanwezige kennis en praktijkervaring wordt een zestal maatregelen genomen om de overlevingskansen van Groot zeegras te optimaliseren. (1) Zorgvuldige selectie van de locatie op regionale schaal, zie boven, en (2) op lokale schaal, (3) optimaal behoud van geproduceerde zaden, (4) aanleg van beschutting opdat een grotere diepte bestreken kan worden - oftewel risico's spreiden in de ruimte (diepte), (5) risicospreiding in de tijd (2 à 3 jaren) en ruimte (verschillende locaties) en (6) zorgvuldige donorselectie met een zo groot mogelijke genetische diversiteit.

De aanleg van mosselrichels als beschuttingstechniek draagt een aantal risico's, daarom wordt een reservestabilisatietechniek aangelegd in de vorm van rijshouten schermen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Groot zeegras (*Zostera marina* L.) komt van oudsher voor in de Waddenzee. Vóór de dertiger jaren van de vorige eeuw ging het zelfs om 15.000 ha, en bestond er een zeegrasindustrie in Nederland. Groot zeegras vormt een onderwaterwoud waarin vele soorten vissen een schuilplaats vinden, een kinderkamer voor krabben en schelpdieren en een foerageermogelijkheid voor alikruikjes en andere slakjes die van algen op het zeegras leven. Zeegrasvelden verhogen niet alleen de biodiversiteit, maar oefenen ook een stabiliserende werking uit op hun omgeving: sediment wervelt minder gauw op, de bodem hoogt op en golfactiviteit wordt geremd.

Een robuuste vorm van Groot zeegras kwam rond de laagwaterlijn en dieper voor, en was meerjarig (van Goor 1919, van Katwijk et al. 2000a, zie voorts hoofdstuk 2). Dit type zeegras is begin jaren 1930 verdwenen uit de Waddenzee. Een flexibele vorm van zeegras groeit rond NAP, is meestal eenjarig, en is begin jaren 1970 sterk afgenomen. Uit de westelijke Waddenzee is de plant toen zelfs verdwenen. Bij Terschelling, de Eemsmonding en in de Duitse en Deense Waddenzee komt dit type Groot zeegras nog voor.

In de Waddenzee komt nog een tweede soort zeegras voor, Klein zeegras (*Zostera noltii*). Deze soort groeit in de getijdenzone, één tot enkele decimeters boven NAP. *Z. noltii* groeit in een wat hogere zone voor dan een flexibele vorm van Groot zeegras, hoewel de soorten soms ook gemengd voorkomen. In de getijdezone is *Z. marina* overwegend eenjarig, en *Z. noltii* meerjarig.

De aanwezigheid van natuurlijke zeegrasvelden maakt onderdeel uit van het in de Planologische Kernbeslissing voor de Waddenzee verwoorde streefbeeld. Ook in internationaal opzicht is de terugkeer van zeegrasvelden in de Waddenzee een belangrijk item: het is een van de 'ecotargets' in het kader van de trilaterale Waddenzeesamenwerking.

In 1987 is de overheid gestart met onderzoek naar mogelijkheden voor herstel van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee. Tot aan eind jaren negentig heeft dit onderzoek antwoorden opgeleverd op vragen als: waarom zijn de planten verdwenen in de westelijke Waddenzee?, waarom heeft geen herstel plaatsgevonden?, welke standplaatsfactoren zijn van belang?, is de westelijke Waddenzee nog wel geschikt voor Groot zeegras?, welke geschikte donorpopulaties zijn er en hoe kunnen de kansen voor overleving geoptimaliseerd worden? Dit onderzoek werd grotendeels in opdracht uitgevoerd door de Katholieke Universiteit Nijmegen, maar ook door RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee).

In 1997 verscheen van de hand van het RIKZ een beheersvisie voor zee-gras getiteld "Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief" (de Jonge et al. 1997). Hierin wordt geconcludeerd dat een herstel van zee-grasvelden langs natuurlijke weg weinig kansrijk is. Het gebruik van golfremmende constructies gedurende de opbouwperiode van een aan-

plant wordt gesuggereerd als methode om herintroductie van zeegras een kans van slagen te bieden (zie ook van Katwijk 1999, van Katwijk et al. 2000a).

Afstemming van de beheersvisie met bij de waddenzee betrokken instanties (terreinbeheerders, visserijorganisaties, natuurorganisaties) heeft plaatsgevonden middels een workshop op 29 april 1997 getiteld "Zeegras (Groot en Klein) in de Waddenzee". In deze workshop werden de conclusies van de beheersvisie onderschreven, en werd het wenselijk geacht om in de westelijke Waddenzee een kleinschalig herintroductie-experiment van Groot zeegras tot uitvoering te brengen, als onderdeel van een pakket van beheersmaatregelen en onderzoek. Deze actie is door Rijkswaterstaat verwerkt in een onderzoeksprogramma dat door de Commissie Uitvoering Beheersplan Waddenzee (CUBWAD) in 1997 op hoofdlijnen is geaccordeerd. Met ingang van 1998 is het project "Herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee", als maatregel N17 opgenomen in het Maatregelenprogramma Waddenzee.

In opdracht van Rijkswaterstaat directie Noord-Holland gaan RIKZ, KUN en Alterra in de periode 2002-2006 de herintroductie uitvoeren. Het onderhavige rapport bevat een inventarisatie van relevante bestaande kennis, een onderbouwing voor de selectie van aanplantlocaties en een plan van aanpak voor de herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee 2002-2006.

1.2 Waarom niet wachten op natuurlijk herstel?

Zelfs bij een verbetering van de milieuvoorwaarden zal zeegras niet vanzelf terugkeren. Er zijn drempels overschreden in het degradatieproces van de Waddenzee, zodat spontaan herstel onmogelijk is: is een veld eenmaal verloren, dan zullen de toegenomen troebelheid, erosie van de onbeschermde bodem en de toegenomen waterdynamiek (zeker nu ook vrijwel alle stabiele mosselbanken uit de Waddenzee zijn verdwenen), het herstel belemmeren¹. Bovendien zijn er nog maar twee veldjes die als zaadbron kunnen dienen, één bij Terschelling en één in de Eemsmonding. De kans dat zaden of zaaddragende stengels van deze veldjes de westelijke Waddenzee bereiken is uiterst klein. Zaden zijn zwaar en kunnen zich hooguit een paar meter verplaatsen. Zaadstengels drijven met de stroming mee, en deze is overwegend oostelijk gericht (zie verder paragraaf 7.1).

Er zijn voorts aanwijzingen dat de populatie bij Terschelling minder geschikt is. In uiteenlopende experimenten bleken Terschellingse planten telkens slechter te overleven dan planten uit Eems of het noordelijke Sylt (van Katwijk et al. 1998, van Katwijk & Wijgergangs 2000, ongepubliceerde resultaten). De genetische eenvormigheid vormt een derde probleem. Een spontane vestiging zal ontstaan vanuit een of enkele planten, zodat er inteelt zal ontstaan. Dergelijke eenvormige velden zijn extra kwetsbaar (Williams & Davis 1996, Williams 2001). In het bestaande

¹ Nu en dan worden nieuwe vindplaatsen van Groot zeegras gemeld (Schiermonnikoog, Rottumeroog, NO-Groningen, Griend). Dit gaat nooit om meer dan enkele planten, en meestal verdwijnen de planten binnen één of twee jaar. Bij NO-Groningen worden de planten vaker aangetroffen, maar dit komt waarschijnlijk vooral door de continue toestroom van zaden vanuit de grote Eemspopulatie.

Terschellinger veld hebben we mogelijk te maken met zo'n inteeltgemeenschap (zie paragraaf 6.2). Tot slot zijn er aanwijzingen dat er een minimale populatiegrootte nodig is om de geproduceerde zaden voor het gebied te behouden (zie intermezzo 2 en paragraaf 3.5).

1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt eerst een inventarisatie van bestaande kennis gegeven (hoofdstukken 2 – 5). De inzichten die hieruit voortvloeien leiden tot een verantwoording voor herintroductie van Groot zeegras (hoofdstuk 6) en een selectie van aanplantlocaties (hoofdstuk 7). In hoofdstuk 8 wordt de herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee in een wat bredere visie geplaatst, zowel in ruimtelijk opzicht (zonerings), als in de tijd (dynamiek). Tot slot volgt een plan van aanpak voor de herintroductie van Groot zeegras in de westelijke Waddenzee 2002-2006 (hoofdstuk 9).

Om de keuzes bij de selectie van de transplantatieplekken, en het plan van aanpak te begrijpen, is een inventarisatie van bestaande kennis belangrijk. Op de eerste plaats dient een onderscheid gemaakt te worden in twee typen zeegras, een flexibel type dat rond NAP voor kan komen, en een robuust type dat rond de laagwaterlijn voorkwam (hoofdstuk 2). Voorafgaand aan zeegrasherstel, dienen vragen te worden beantwoord als: waarom is het zeegras verdwenen? Waarom heeft het zich niet hersteld? Deze vragen worden beantwoord in hoofdstuk 3 over de geschiedenis en keuzes in het voortraject van het huidige zeegrasherintroductieproject, waarin tevens eerder onderzoek naar mogelijke donorpopulaties, waterkwaliteit en –dynamiek, experimentele aanplanten en de zeegraskansenkaart worden besproken. Voor veel Nederlandse beleidsmakers en Waddenzee-experts die zijdelings of direct betrokken zijn bij het zeegrasherintroductieproject is het vaak verrassend dat zeegrasrestauratieprojecten op grote schaal plaatsvinden, over de gehele wereld. Een overzicht van de grote projecten, plantmethodes en het mediane succespercentage worden in hoofdstuk 4 gegeven. In hoofdstuk 5 worden de habitateisen van Groot zeegras gepresenteerd, waarbij de toestand en trends in de Waddenzee met betrekking tot de belangrijkste habitatkenmerken worden samengevat.

2 Onderscheid in twee typen zeegras

2.1 Een flexibele en een robuuste vorm van Groot zeegras

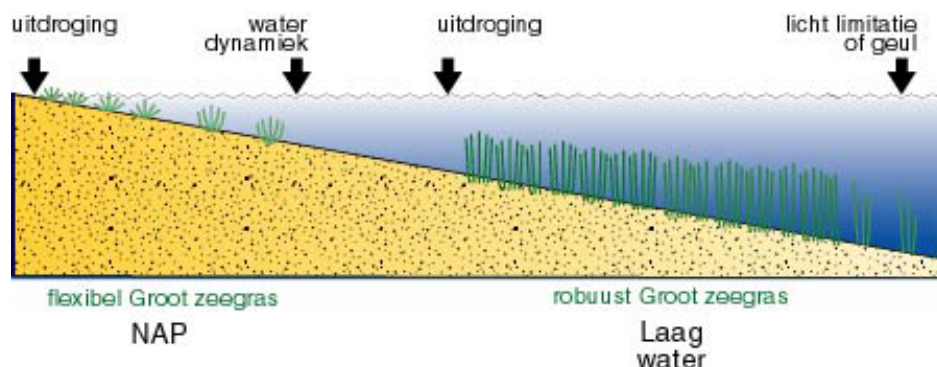
Bestudering van oude bronnen leert dat in de Waddenzee twee typen Groot zeegras hebben bestaan (b.v. Harmsen 1936, overzicht in van Katwijk et al. 2000a, figuur 1).

- (1) Het eerste type is flexibel, waardoor het bij droogvallen plat op het wad ligt en daardoor niet snel uitdroogt; deze komt met name voor rond NAP, is overwegend (maar niet volledig) eenjarig en wordt in de huidige Waddenzee nog aangetroffen.
- (2) Daarnaast is er een robuuste vorm, waarvan de schedes bij droogvallen rechtop blijven staan. Deze vorm is gevoelig voor uitdrogen, was overwegend meerjarig en kwam in de Waddenzee rond laagwater en dieper voor, maar is hier sinds de 1930er jaren uitgestorven. Dit type zeegras is beter bestand tegen golfbewegingen als gevolg van de stevigere bouw en het beter ontwikkelde wortelstelsel in vergelijking met de flexibele vorm van zeegras.

Beide types zijn ook beschreven voor zeegrasvelden in de monding van de Theems (Harmsen 1936). De beschrijving van twee types, waarvan één met rechtopstaande schede, en een met schedes die bij laagwater plat op het sediment liggen, is ook in de Engelse literatuur aan te treffen (referenties en nomenclatuur, zie intermezzo 1).

Intermezzo 1. Twee typen zeegras: nomenclatuur

Het flexibele type Groot zeegras, dat bij laagwater plat op het sediment ligt, werd *Zostera hornemanniana* genoemd door Tutin (1936, 1938, 1942). Daarna noemde hij het *Z. angustifolia* (Hornem.) Rchb. (Clapham et al. 1962, Tutin et al. 1980). Deze naam wordt nog steeds gebruikt in Groot-Brittannië (overzicht in Kay 1998). Harmsen (1936) noemde het *Z. marina* var. *stenophylla* Aschers. & Graebner. Het robuuste type, met schedes die rechtop blijven staan (ongeveer 2 cm), wordt algemeen aangeduid met *Z. marina* L. In de wetenschappelijke, witte literatuur, worden beide types aangeduid als *Z. marina* L., omdat er geen taxonomisch verschillende kenmerken worden gevonden (den Hartog 1972). Volgens den Hartog (pers. comm.) is het verschil in de lengte van de stijlen en stempels waarmee Tutin (1936) beide types onderscheidt (in *Z. marina* zijn ze langer dan in *Z. hornemanniana*), een artefact: waarschijnlijk is het exemplaar van *Z. hornemanniana* dat Tutin onderzocht verzameld na de bevruchting, toen de bovenste delen van de stijl waren afgefallen, terwijl het exemplaar van *Z. marina* vóór de bevruchting was verzameld.



Figuur 1. Zonatie van flexibel en robuust Groot zeegras, en factoren die de grenzen van de zones bepalen.

2.2 Zonatie

De bovengrens van de zone met de flexibele vorm van Groot zeegras wordt bepaald door uitdroging (Hermus 1995, Leuschner et al. 1998), en varieert tussen NAP en 30 cm daarboven (Schellekens 1975 in combinatie met Rijkswaterstaatgegevens, Boley 1988, Hermus 1995). De ondergrens wordt meestal bepaald door de langer durende blootstelling aan golfdynamiek (Hermus 1995, van Katwijk & Hermus 2000), en is maximaal enkele decimeters beneden NAP (Harmsen 1936, Schellekens 1975, Boley 1988, Hermus 1995, de Jonge et al. 1996). Alleen op beschutte locaties strekt deze zone zich uit tot de laagwaterlijn (b.v. Nienburg 1927, maar zie ook paragraaf 5.5).

De bovengrens van het robuuste type zeegras wordt bepaald door uitdroging, waar dit type met de rechtopstaande bladschedes veel gevoeliger voor is (Harmsen 1936). Harmsen onderzocht vele plekken in de Waddenzee en vond dat dit type zeegras nooit meer dan 0.20 m boven gemiddeld laagwater groeide (op de meeste plekken is dit zo'n -0.80 m NAP). Dit wordt bevestigd door waarnemingen van van Goor (1920) en Wohlenberg (1935). Nieuwe berekeningen met oude hydrografische data in combinatie met oude zeegrasvegetatiekaarten wezen uit dat evengoed de helft van het zeegrasareaal boven laagwater was gelegen [zij het vlak boven laagwater, MvK] en de helft daaronder (de Jonge & Ruiter 1996). De ondergrens van deze zone werd waarschijnlijk bepaald door lichtlimitatie en/of sterke stromingen (b.v. Oudemans 1870).

Tussen beide zeegraszones ligt vaak een onbegroeide zone, waar de waterdynamiek² te sterk is voor de flexibele vorm, en waar de rechtopstaande bladschedes van de robuuste vorm zouden uitdrogen tijdens de laagwaterperiodes (overzicht in van Katwijk et al. 2000a).

2.3 Waarom focus op flexibele vorm?

Bij herintroductie moet men zich realiseren dat het flexibele type zeegras een andere aanpak vereist dan het robuuste type. Het plan van aanpak richt zich op herintroductie van de flexibele vorm, omdat:

- (1) De vegetatiekaarten uit 1869 en uit 1931 (Oudemans 1870, den Hartog en Polderman 1975, de Jonge & Ruiter 1996) indiceren dat aan-

² Hier worden de cumulatieve golfbewegingen aan het sediment bedoeld; een combinatie van orbitaalsnelheid (resultierend in een zekere intensiteit waarmee het blad heen en weer zwiept) en duur (hoe lager de plant staat t.o.v. NAP, hoe langer hij onder water staat, en hoe langer hij blootgesteld wordt aan golfbewegingen).

zienlijke velden ook rond NAP moeten hebben gelegen (dit is de flexibele vorm), hoewel het Groot zeegras uit vroeger tijden vooral bekend is van de commerciële (=robuuste) vorm. Ook van Sylt zijn Groot zeegrasvelden van rond NAP bekend (Nienburg 1927).

- (2) Het onderzoek en de veldexperimenten die tot nu toe zijn uitgevoerd erop duiden dat (dit type) Groot zeegras een goede kans heeft in de westelijke Waddenzee (mits in gebieden met een relatief lage saliniteit, zoals Balgzand) (van Katwijk 2000a, van Katwijk & Wijgergangs 2000).
- (3) Dit type Groot zeegras reeds aanwezig is in oostelijke en noordelijke delen van de Waddenzee, hetgeen bovenstaande ondersteunt; deze kunnen als donor dienen (van Katwijk et al. 1998, van Katwijk & Wijgergangs 2000).
- (4) Dit type Groot zeegras het laatst verdwenen is in de westelijke Waddenzee (in de 1970er jaren, den Hartog & Polderman 1975). Het robuuste type is reeds in de 1930er jaren verdwenen. Het is dan logisch om in een hersteltraject met het laatst verdwenen type te beginnen.
- (5) Er onvoldoende kennis is omtrent de mogelijkheden tot herintroductie van het robuuste bij laagwatergroeiende type zeegras. De kennis die nodig is vereist een fundamenteel type onderzoek hetgeen niet in deze aanbesteding wordt beoogd. De volgende zaken zijn onbekend:
 - Is de Waddenzee op dit moment ook geschikt voor dit type zeegras?
 - Kan dit type zeegras zich ontwikkelen uit het flexibele type, m.a.w. is het een aanpassing aan de omgeving, of heeft het een afwijkend genotype en kan men het als een ecotype, ras of ondersoort beschouwen?
 - Als het zich kan ontwikkelen uit het flexibele type, wat is er daar voor nodig? Rond laagwater is de waterdynamiek maximaal, zodat simpel uitplanten op deze plek niet volstaat: de planten zouden worden weggeslagen vóórdat ze 'van vorm' kunnen veranderen. Harmsen (1936) heeft dit overigens vergeefs geprobeerd op Balgzand in de tijd dat beide typen daar nog aanwezig waren.
 - Als het een genetisch afwijkend type was, dan is dat nu uitgestorven in de Waddenzee. Een geschikte donorpopulatie moet dan elders worden gevonden. Alvorens tot herintroductie over te gaan dient te worden getest of mogelijke kandidaten geschikt zijn voor de Waddenzeeomgeving (om kosten en bestaande velden te sparen en om onnodig ingrijpen in de Waddenzee te voorkomen, zoals ook is gedaan voor het flexibele type Groot zeegras, van Katwijk et al. 1998).

Indien de herintroductie van het flexibele type Groot zeegras is geslaagd, en voldoende kennis omtrent het robuuste type Groot zeegras is verworven (zie hierboven, punt 5), kan men bezien of herintroductie van het robuuste type tot de mogelijkheden behoort.

*2.4 Waarom focus op **Zostera marina**?*

Zostera marina is de soort die met 80 tot 150 km² zo wijd verbreid voorkwam in de Waddenzee dat er zelfs een industrie ontwikkeld werd.

Meer nog dan de flexibele *Z. marina* en *Z. noltii* velden vormden de zeegrasvelden van de robuuste vorm van *Z. marina* rond de laagwaterlijn een habitat voor andere organismen (van Goor 1919). Nu in de loop van het project gebleken is dat herintroductie van de twee morfotypes van zeegras een andere aanpak vergt, en dat de focus in eerste instantie op het flexibele type moet zijn (zie boven), zou men kunnen overwegen om evenzeer op *Z. noltii* te focussen. Om de volgende redenen is besloten om toch voor *Z. marina* te kiezen:

- Meer kans op bruikbaarheid voor eventuele herintroductie van het robuuste type. Een toekomstoptie is om ook het robuuste type van Groot zeegras te introduceren, nadat meer informatie is verzameld over mogelijke donorpopulaties. Beide types behoren tot dezelfde soort, mogelijk zijn ze niet genetisch verschillend en kunnen beide zones van elkaar profiteren, dus dan is het beter om de zone van flexibel Groot zeegras rond NAP te herstellen, dan de Klein zeegraszone. Om dezelfde reden is de nieuwe kennis die gegenereerd wordt in een herintroductieproject met Groot zeegras bruikbaar voor toekomstige herintroductie van het robuuste type, dan herintro met Klein zeegras zou zijn.
- Er is meer bekend over Groot zeegras, waardoor de succeskans groter is. Er is inmiddels zoveel onderzoek verricht naar de transplantatievoorwaarden van Groot zeegras, dat de kansen op succes aanzienlijk vergroot zijn ten opzichte van de pilottransplantaties uit 1993-1995.

3 Historie en keuzes

3.1 Inleiding

De keuzes die in de huidige herintroductieopzet gemaakt zijn, vinden hun oorsprong in de historie van eerdere herintroductieprojecten in de Waddenzee. Gedurende de looptijd van deze projecten zijn keuzes gemaakt op basis van de kennis die op dat moment aanwezig was. De keuzes zijn telkens weloverwogen en met raadpleging van vele experts gemaakt.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de historie van de zeegras-herintroductieprojecten vanaf 1987 aan de hand van vragen, problemen en daaruitvoervloeiende keuzes.

3.2 Waarom is Groot zeegras verdwenen, en heeft het zich niet hersteld?

1987-1990:	bureaustudie	door	Giesen (KUN)
1987-1992:	bureaustudie	door de Jonge & de Jong (RIKZ)	

In de dertiger jaren verdween het robuuste Groot zeegras op grote schaal uit de Waddenzee. Dit viel samen met drie verschijnselen: 1. het uitbreken van wasting disease, een ziekte die zich manifesteerde in Groot zeegras in het gehele Noordatlantische kustgebied, 2. de toenemende bedijking en bedamming in de Waddenzee, vooral de bouw van de afsluitdijk die in 1932 gereedkwam, en 3. twee opeenvolgende jaren met een verminderde hoeveelheid zonlicht. Het is niet duidelijk welk van deze factoren verantwoordelijk is voor het verdwijnen van Groot zeegras. Waarschijnlijk een combinatie van alle drie (overzichten worden gegeven in Giesen et al. 1990a, den Hartog 1996 en de Jonge et al. 1996).

Terwijl het Groot zeegras zich in andere Noord-atlantische kuststreken herstelde na de wasting disease catastrofe, bleef herstel in de Waddenzee uit. De Waddenzee was te troebel geworden, en visserijactiviteiten belemmerden nieuwe vestiging (van den Hoek et al. 1979, Giesen et al. 1990a, de Jonge en de Jong 1992, de Jonge et al. 1996). Wel bleven hoger gelegen velden met flexibel Groot zeegras (rond NAP) gespaard.

Het flexibele Groot zeegras is begin jaren 1970 in grote delen van de Nederlandse Waddenzee verdwenen of sterk afgenomen (b.v. Polderman & den Hartog 1975, Giesen et al. 1990b). Verschillende oorzaken zijn mogelijk. Belangrijk is de toegenomen troebelheid (Giesen et al. 1990b): het water was zo troebel dat lichtlimitatie in in de lichtste maanden (met 16 uur lichtverzadiging per etmaal) al optrad beneden -0.25 m NAP, uitgaande van een gemiddelde k -waarde in 1984/1985 van 2.3 m^{-1} (de Jonge & de Jong 1992). In voor- en najaar is er minder licht, en ook tijdens een algenbloei, of bij aanhoudende winden en stormen uit een ongunstige richting, waardoor het water vertroebelt, zou licht tijdelijk limiterend kunnen zijn tot boven 0 NAP. Zo'n smalle zone rond NAP is natuurlijk ook kwetsbaar voor ijsgang; een aantal winters met lage temperatuur zou funest kunnen zijn geweest. In het Balgzandgebied bestaan

hier ook aanwijzingen voor (Polderman & den Hartog 1975). Een andere mogelijke factor die het verdwijnen van dit zeegras in de Waddenzee zou kunnen verklaren is de toegenomen eutrofiëring (Giesen et al. 1990b, Philippart 1995, van Katwijk et al. 1997, 1999), mogelijk in combinatie met een sterk afgenomen dichtheid van wadslakjes (Philippart 1995).

Daarnaast kwam de mechanische kokkelvisserij op, en breidde de mosselzaadvisserij zich ook uit naar droogvallende platen (Dankers 1998, de Jonge et al. 2000), de desastreuze effecten hiervan op zeegras zijn bekend, bijvoorbeeld uit begin jaren 1990 (de Jonge 1990a, van Katwijk 1991, de Jonge & de Jong 1992, van Katwijk in press). De Eemspopulatie op de Hond/Paap is ternauwernood gespaard gebleven van de verwoestende gevolgen van mosselzaadvisserij: nog in 2001 werd net buiten de zeegraspopulatie gevist (zie ook paragraaf 6.2). In het algemeen waren de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw tijden van grote vervuiling: organische belasting, fosfaten in de wasmiddelen, kunstmest, pesticiden etc. (de Jonge et al. 1993).

3.3 Eerste onderzoek naar waterkwaliteit en donorpopulaties

Omdat begin jaren 1990 visserijactiviteiten op een aantal plaatsen verboden werd en het water helderder bleek te zijn geworden (de Jong & de Jonge 1992, de Jonge et al. 1996, Dankers 1998), rees de vraag of de waterkwaliteit van de Waddenzee geschikt is, en of er geschikte donorpopulaties zijn.

1989-1992: Mesocosmexperimenten door van Katwijk, Schmitz en anderen (KUN)

De geschiktheid van de waterkwaliteit van de Waddenzee, en een aantal potentiële donorpopulaties werden getest in mesocosmexperimenten. Een mesocosm is een bassin met deels gecontroleerde, deels ongecontroleerde omstandigheden. Planten afkomstig uit de Waddenzee (Terschelling, Eems, Sylt) en ZW-Nederland (Grevelingen en Oosterschelde) bleken goed te groeien in het bassin met Waddenzee-water. Planten afkomstig van de Oostzee (Yderfjorden, Denemarken) en de Atlantische oceaan (Roscoff, Frankrijk) bleken niet goed te overleven (Wijgergangs 1991, Westerveld & Verschuren 1992, Janssen 1996, van Katwijk et al. 1998). Deze laatste twee behoorden tot het type robuust zeegras, terwijl de eerste vijf het flexibele type zeegras vertegenwoordigden³.

Uit beschaduwingsexperimenten in het mesocosmbassin kon berekend worden dat de maximale diepte minstens op -0.80 m NAP ligt, aangenomen dat de helderheid op het niveau van de 1990-er jaren blijft ($k=1.5 \text{ m}^{-1}$ of minder, de Jonge et al. 1996) (van Katwijk 1992, van Katwijk et al. 1998, van Katwijk & Hermus 2000, zie verder paragraaf 5.1). Deze bevindingen leidden tot de eerste aanplanten.

³ Hieruit kan men niet zonder meer concluderen dat het Waddenzee-water niet geschikt is voor dit type zeegras. In het geval van de Yderfjorden planten is mogelijk de overgang van lage naar hogere saliniteit te groot geweest; de planten kwijnden direct weg. De Roscoffse planten leken meer dan de andere planten te lijden onder de rottende macroalgen. In een bassin met meer waterdynamiek hadden juist deze planten het vermoedelijk beter gedaan.

3.4 Eerste experimentele aanplanten mislukken

1992-1995: Experimentele aanplanten door Hermus, Schmitz en van Katwijk (KUN)

De eerste experimentele aanplanten werden meestal uitgevoerd op historische zeegraslocaties: op deze plekken waren tot eind jaren 1960 en/of begin jaren 1970 jaren nog Groot zeegraspopulaties aanwezig rond NAP. Er traden twee problemen op (van Katwijk & Schmitz 1993, Hermus 1995, van Katwijk & Hermus 2000):

1. Rond NAP floreerde een smalle zone, maar deze bleek zich het volgende jaar niet te handhaven: er waren onvoldoende zaailingen⁴.
2. Direct na aanplant overleefden de zeegrasplanten alleen in een smalle zone rond NAP. Stonden ze hoger, dan droogden ze uit, stonden ze lager dan verdwenen ze.

En dat riep de volgende vragen op:

Ad 1. Waarom waren er onvoldoende zaailingen en hoe voorkomt men dit?

Ad 2. Waarom overleefden de planten alleen in een smalle zone rond NAP?

In de volgende twee paragrafen wordt op deze vragen ingegaan.

3.5 Waarom waren er onvoldoende zaailingen; hoe voorkomt men dit?

Er zijn drie mogelijke oorzaken:

- Op de transplantatieplek is de kieming en/of zaailingoverleving minder dan op de natuurlijke donorplek
- Toeval a.g.v. klimatologische omstandigheden: in januari 1994 bleek het zeewater bij Balgzand bijvoorbeeld extreem verzoet te zijn als gevolg van de uitzonderlijk hoge rivierafvoeren in de winter van 1993/1994. Dit gaf een ongebruikelijk vroege kieming, waarna de kiemplanten waarschijnlijk zijn doodgevroren tijdens een daaropvolgende vorstperiode.
- Een groot deel van de zaadhoudende bloeistengels zijn naar open zee gedreven⁵

⁴ De planten stierven af in het najaar, en in het voorjaar kwamen er onvoldoende planten uit zaad op om de hoeveelheid planten op peil te houden. Meestal worden er wel enkele planten aangetroffen in het tweede groeiseizoen, maar in het derde groeiseizoen zijn deze verdwenen (Hermus 1995, ongepubliceerde resultaten M.M. van Katwijk).

⁵ Het is waarschijnlijk dat er een verdunningseffect optreedt: een groot deel van de zaaddragende stengels drijft waarschijnlijk naar open zee. Dit wordt bevestigd door zeer recente transplantatieresultaten waarbij in een pilot een groot aantal zaaddragende stengels werd aangebracht in Balgzand (restanten van een zaadproef). In 1999 werden 100-200 planten aangetroffen, en in 2000 eveneens, maar verspreid over een groter oppervlak. In 2001 resteerden slechts enkele planten (ongepubliceerde resultaten M.M. van Katwijk). Ook het binnen 1 of 2 jaar verdwijnen van nieuwe vestigingen (meestal bestaande uit 2 – 10 planten) zou kunnen duiden op een mogelijk verdunningseffect.

De volgende maatregelen kan men nemen om voldoende zaailingen te verkrijgen:

- Ad a. Selectie van locaties die niet alleen gunstig zijn voor volwassen planten maar ook voor kieming en zaailingoverleving. Met name locale factoren werden onderzocht in een aantal veldexperimenten.

1998-1999: Veldexperimenten Wijgergangs, Hermus & van Katwijk (KUN)
--

Een veldexperiment op Balgzand wees uit dat kieming bevorderd wordt door modderig sediment (voetafdrukdiepte 3 cm) in vergelijking met zandig sediment (voetafdrukdiepte 0 cm). Zaailingoverleving en vorming van nieuwe scheuten werden bevorderd door een beschutte ligging, en door een permanent laagje water dat de planten ook tijdens laagwater bedekt, bijvoorbeeld in locale depressies (van Katwijk & Wijgergangs 2000). Vergelijking van een groot aantal sedimenteigenschappen van begroeide versus onbegroeide plekken in een zeegrasveld wees uit dat het bodemwaterzoutgehalte op onbegroeide plekken hoger is dan op begroeide plekken (van Katwijk et al. 2000b). Nader onderzoek moet uitwijzen of dit verschil oorzaak of gevolg is van de begroeiing.

- Ad b. Risicospreiding in ruimte en tijd, om toevallige, klimatologische omstandigheden te ondervangen.

- Ad c. Ontwikkeling van een methode om de zaaddragende bloeistengels voor het gebied te behouden tot een minimale levensvatbare populatieomvang is bereikt, zie intermezzo 2.

Voorts blijkt uit de literatuur dat het van belang is om genetisch divers donormateriaal te gebruiken, zodat de aanplant zich kan aanpassen aan dynamiek en eventuele veranderingen in het milieu, en om een inteeltdepressie te voorkomen (Booy et al. 2000, Williams 2001, zie intermezzo 2).

Intermezzo 2.

Minimale levensvatbare populatiegrootte ('Minimum viable population size').

De overleving van een populatie over bijvoorbeeld 100 jaar, wordt bedreigd door 3 typen risico's, demografische risico's, omgevingsrisico's en genetische risico's. Demografische risico's hebben te maken met recruitment- en sterftcijfers. Deze worden deels bepaald door zaadproductie, pollen- en zaadverspreiding, die afhankelijk zijn van de dichtheid. Zowel pollen en drijvende zaadhoudende bloeistengels kunnen door de planten 'gevangen' worden. Een lage dichtheid verhoogt de kans dat pollen en zaadhoudende stengels naar open zee drijven. Het is ook afhankelijk van de grootte van het veld: hoe groter het zeegrasveld, hoe meer kans dat pollen en zaadhoudende stengels binnen het veld behouden blijven. In een veld van enige omvang (bijvoorbeeld een kwart ha) laten de zaadstengels doorgaans niet gelijktijdig los, en wordt een deel van de losdrijvende stengels door de nog vastzittende stengels tegen gehouden. Als de zaden eenmaal loslaten van de zaadstengel, zullen ze door hun hoge soortelijk gewicht hooguit enkele meters verplaatst worden (Orth et al. 1994).

Omgevingsrisico's worden gevormd door stochastische gebeurtenissen zoals stormen, maar ook simpele ecologie: als de omstandigheden gunstig zijn, kunnen zelfs de kleinste kolonies zich snel uitbreiden, denk maar aan de invasies van exoten (een mooi overzicht van invasies van de Noordzeekust wordt gegeven in Helgoländer Meeresuntersuchungen 52, vol. 3-4, 1999).

Genetische risico's treden op wanneer de genetische diversiteit te klein is om de populatie 'fit' te houden, zowel op lange termijn, als de omstandigheden mogelijk veranderen, als op korte termijn. Onlangs werd aangetoond door Williams (2001) dat de kieming in een genetisch diverse populatie hoger is dan in een getransplanteerde populatie met geringe genetische diversiteit. Ook de dichtheid van de bladeren nam sneller toe in de diverse populatie, in vergelijking met de minder diverse populatie. Natuurlijke *Z. marina* populaties hebben doorgaans een hoge genetische diversiteit, zeker in het Waddengebied (Reusch et al. 2000, Reusch 2002); het is bekend dat inteeltdepressies op kunnen treden (Reusch 2001).

Merk op dat omgevingsrisico's, demografische risico's en genetische factoren niet onafhankelijk van elkaar gezien kunnen worden. Er zijn verschillende interacties bekend, zo kan de vruchtbaarheid (demografie) beïnvloed worden door inteelt (genetica); het verlies van zaden door wegdrijven van zaadhoudende stengels (demografie), zal minder zijn onder beschutte omstandigheden (omgeving), en in het algemeen zullen omgevingsfactoren invloed hebben op recruitment- en sterftcijfers.

3.6 *Waarom overleefden de planten alleen in een smalle zone?*

Dat de planten uitdrogen als ze te hoog staan, is een bekend gegeven. De experimenten wezen uit dat uitdroging optreedt bij +0.10 à +0.15 m NAP. Dat de planten echter verdwenen bij -0.20 m NAP en dieper, wekte bevreemding. Immers, de mesocosmexperimenten hadden uitge-wezen dat er is voldoende licht was tot -0.80m NAP, hetgeen in latere veldexperimenten bevestigd werd (van Katwijk & Hermus 2000), en dat de waterkwaliteit geschikt was (van Katwijk et al. 1998).

Overigens geldt deze dieptegrens ook voor natuurlijke velden (van Katwijk et al. 2000a, van Katwijk & Hermus 2000, zie ook paragraaf 2.2)

Twee hypothesen vloeiden voort uit de bevinding dat de overleving van het zeegras afnam bij toenemende diepte⁶:

- Hoe dieper de planten staan, hoe langer ze omringd worden door het water; de waterkwaliteit zou dus toch minder geschikt kunnen zijn (het Waddenzeewater dat gebruikt werd in het mesocosmexperiment was afkomstig van een inlaatpunt vlak bij het Marsdiep, terwijl het veldexperiment werd uitgevoerd op wadplaten, waar het water al een tijd intensieve uitwisseling met het sediment had gehad. Dit heeft meestal een verrijking van de waterlaag tot gevolg, Asmus & Asmus 1998).
- Hoe dieper de planten staan, hoe langer ze blootgesteld zijn aan golfdynamiek, dit zou de planten kunnen aantasten bij toenemende diepte.

Deze hypothese werden vervolgens getest in laboratorium- en veldexperimenten:

3.7 *Waterkwaliteit en waterdynamiek*

1993-1994:	laboratoriumexperimenten Schmitz & van Katwijk (KUN)
1993:	veldexperimenten Hermus & van Katwijk (KUN)

Laboratoriumexperimenten wezen uit dat nutriëntenbelasting en zoutgehalte van belang zijn voor het zeegras (zie uitgebreid in hoofdstuk 5). Onder de huidige nutriëntenomstandigheden is het bevorderlijk om een locatie te selecteren met een wat verlaagd zoutgehalte (Kamermans et al. 1999, van Katwijk et al. 1999, paragraaf 5.4). Veldexperimenten wezen uit dat de duur van golfdynamiek een negatief effect op het zeegras heeft, en dat beschutting bevorderlijk werkt (zie verder paragraaf 5.5).

3.8 *Zeegraskansenkaart*

Sinds midden jaren 1990 is door RIKZ een zeegraskansenkaart ontwikkeld (de Jonge et al. 2000, bijlage 1). In de kaart wordt de geschiktheid van locaties voor Groot zeegrasgroei aangegeven, op basis van droogvalduur, sedimentsamenstelling, stroomsnelheid en golfdynamiek. Met deze kaart kan de locatiekeuze voor aanplant ondersteund worden, en tevens kunnen kansrijke gebieden voor Groot zeegras worden aangegeven, zo-

⁶ Om verwarring te voorkomen: de robuuste vorm van Groot zeegras wordt in deze hypothesen buiten beschouwing gelaten. Deze vorm komt in een andere zone voor, zie paragraaf 2.1.

dat inzicht kan worden verkregen over de mogelijke verspreiding van het zeegras vanuit de aanplant in de westelijke Waddenzee, en gebieden kunnen worden aangewezen die, indien mogelijk, extra beschermd dienen te worden voor bodemverstorende activiteiten.

Het zeegraskansenmodel (bijlage 1) zal in de loop van het herintroductieproject worden verbeterd op de volgende punten: (1) de stroomsnelheid en golfdynamiek zijn nu gebaseerd op één windrichting, noordwest, dit wordt uitgebreid naar 8 windrichtingen, (2) nutriënten- en (3) saliniteitsgegevens zullen worden ingebracht. De nieuwe vestigingen van Groot zeegras zouden gebruikt kunnen worden om het model te toetsen, hoewel het niet zeker is of de vestigingsplaatsen altijd een geschikte standplaats vertegenwoordigen: m.n. de herhaalde vestigingen langs NO-Groningen duiden eerder op een voortdurende import van zaden, dan op een geschikte habitat.

4 Transplantaties in de rest van de wereld

4.1 Overzicht

In grote delen van de wereld worden aangetaste en verdwenen zeegrasvelden gerestaureerd. Dit gebeurt op grote schaal in Noord- en Midden-Amerika (overzichten in Fonseca et al. 1998, Sheridan et al. 1998, Orth et al. 1999), Australië (bijvoorbeeld Paling et al. 1998, 2000a, b, Lord et al. 1999), Japan (Watanabe & Terawaki 1986, Kawasaki et al. 1988, en diverse publicaties in het Japans⁷), maar ook in Europa: Groot-Brittannië (Ranwell et al. 1974), Denemarken (Christensen et al. 1995), Italië (Balestri et al. 1998, Piazzini et al. 1998) en Frankrijk (Meinesz et al. 1991, 1992, 1993, Molenaar et al. 1993). In de Nederlandse Waddenzee dateren de oudste vermeldingen vermoedelijk uit Reigersman et al. (1939), waarin hij de transplantatiepogingen van de heer F. Duinker beschrijft vlak na de grote zeegrassterfte begin jaren dertig. In dezelfde periode werden kleinschalige transplantatie-experimenten uitgevoerd door Harmsen (1936), in een reciproke transplantatie van de NAP-zone (flexibele type) en de zone bij laagwater (robuuste type).

Vaak is compensatie ('mitigation') de aanleiding voor zeegrastransplantaties. Het wordt dan toegestaan zeegrasvelden te verwijderen, mits op een andere plek een zeegrasveld wordt 'aangelegd'. Het vernietigen van de zeegrasvelden gebeurt veelal ten behoeve van landaanwinning, het bouwen van havens of vliegvelden, baggeractiviteiten of grondwinning. Als het om zo'n compensatieregeling gaat, gebeurt de zeegrasaanplant meestal op een grote schaal. In de Verenigde Staten is in totaal (groot- en kleinschalig bij elkaar opgeteld) 78 hectare zeegras aangeplant volgens een overzicht in Fonseca et al. (1998). Soms werden hierbij nutriënten en groeihormonen in het sediment geïnjecteerd (b.v. Kenworthy et al. 2000). De resultaten hiervan zijn wisselend. Het blijkt in ieder geval geen kwaad te kunnen (Fonseca et al. 1998). In Australië is 2 ha getransplanteerd (Lord et al. 1999), grotendeel met gebruikmaking van een onderwater-'combine', een verrijdbare machine die oogst en plant (Paling et al. 2000a). In Japan zijn recentelijk tientallen hectaren getransplanteerd in de buurt van Hiroshima (diverse Japanse publicaties⁷, A. Meinesz pers.comm.).

4.2 Plantmethoden

Fonseca et al. (1998) hebben de verschillende aanplanttechnieken voor *Zostera marina* zoals die tot dan toe in de Verenigde Staten gebruikt werden, op een rijtje gezet. Grofweg werden drie methoden gebruikt:

- Stekken met sediment eraan (cores of sods=zoden): 29%
- Stekken / zaailingen zonder sediment: 64%
- Zaden (8%)

Het gebruik van zaden komt momenteel meer in de aandacht (Granger et al. 2000, Orth et al. 2000, Bintz & Nixon 2002) In paragraaf 9.3 wordt

⁷ Hiervan heeft Prof. dr A. Meinesz van de Universiteit van Nice samen met een Japanse onderzoeker engelstalige samenvattingen gemaakt. Omdat het over *Z. marina* gaat, in aanplantingen van tientallen hectares, zou het de moeite waard zijn deze samenvattingen in te zien en om te zetten in een rapport.

uitgelegd waarom in het huidige project niet van zaden gebruik wordt gemaakt.

In de VS worden de planten doorgaans verankerd: met een net of met een soort anker of haring. In de Waddenzee zijn verschillende methodes van verankering getest. Gebruik van verschillende vormen van netten of ankers werkten respectievelijk negatief of hadden geen effect. De netten beschadigden de plant, omdat ze in beweging kwamen door de waterbewegingen. Ankers hielden de planten wel op hun plaats, maar konden niet voorkomen dat de bladeren en bladschedes scheurden. Een in de VS onbekende methode, namelijk het verstevigen van het sediment met een laagje schelpen bleek in de Waddenzee een positief effect te hebben bij ≈ -0.20 m NAP. Deze methode bleek echter het verlies op deze diepte a.g.v. waterdynamiek niet te kunnen voorkomen; het verlies werd slechts uitgesteld (van Katwijk & Schmitz 1993, Hermus 1995, van Katwijk & Hermus 2000).

Dat verankering in de VS wel werkt komt vermoedelijk omdat daar om de robuuste vorm van Groot zeegras gaat, waarvan bladschedes en bladeren minder snel scheuren (zie hoofdstuk 2)

Transplantatie van stekken met hun sediment (zoden) is over het algemeen een methode met grote succeskans, echter in de praktijk bijzonder lastig uit te voeren en kostbaar.

4.3 Transplantatiesucces

Fonseda et al. (1998) registreerden 138 studies over zeegrastransplantaties in de VS, waarvan 53 met bruikbare data om het succespercentage te kunnen berekenen. Het transplantatiesucces was sterk wisselend, de mediane waarde van het percentage van het aantal planting units⁸ dat overleefde was 35%.

⁸ Planting unit: dit kan een individuele plant of stek zijn, maar ook een zode van bepaalde afmetingen, of een plot van bepaalde afmetingen en dichtheid.

5 Habitatie en situatie Waddenzee

5.1 Troebelheid

De toenemende troebelheid van de Waddenzee in de twintigste eeuw wordt algemeen als oorzaak gezien van het uitblijven van herstel van de zeegraspopulaties na de grote verliezen in de 1930er jaren (van den Hoek et al. 1979, Giesen et al. 1990a, b, de Jonge & de Jong 1992, tabel 1). Troebelheid kan toenemen door (1) verhoogde fytoplanktongroei (bijvoorbeeld door toenemende belasting van het systeem met nutriënten), of (2) door toenemende water- en sedimentdynamiek (inclusief de door de mens toegevoegde dynamiek door baggeren, aanleg van dijken en dammen, bodemberoerende visserij, zand- en schelpenwinning etc.). De troebelheid van het Waddenzeewater is vanaf begin jaren 1990 afgenomen, om onbekende redenen (de Jonge & de Jong 1992, de Jonge et al. 1996, en bijlage 2). Mesocosm-experimenten met *Z. marina* planten van verschillende donorpulaties, waaronder Terschelling, Eems en Sylt, wezen uit dat licht niet beperkend is tot minstens -0.80 m NAP (van Katwijk 1992, Janssen 1996, van Katwijk et al. 1998). Dit onder voorwaarde dat de gemiddelde troebelheidsfactor k minder blijft dan 1.5 m^{-1} . In de Waddenzee is dit het geval sinds 1989 (de Jonge et al. 1996, tabel 1). Doorzicht en zwevend stofgehalte van de waterlaag (bijlage 2) geven aan dat het water ook helder is gebleven na de metingen die gepubliceerd zijn in de Jonge et al. 1996.

Tabel 1. Troebelheid van het Waddenzeewater (gegevens gecombineerd uit Giesen et al. 1990b, de Jonge et al. 1996, en bijlage 2)

	k-waarde m^{-1}
1930er jaren	0.5 - 1
1950er jaren	1 - 1.5
Eind 1970 en begin 1980er jaren	2 - 3
Eind 1980er en begin 1990er jaren	1-2
Eind jaren 1990*	Circa 1.5*

*Gegevens Marsdiep en Doove Balg, zie bijlage 2; omrekening zie Giesen et al. 1990b.

In de loop van de jaren zeventig werd de troebelheid zo groot (tabel 1) dat de ondergrens van de NAP-zone met het flexibele type zeegras mogelijk hierdoor bepaald werd (Giesen et al. 1990b, de Jonge & de Jong 1992). Een aanhoudende periode met verhoogde troebelheid en verhoogde waterstanden zou in deze tijden al gauw de ondergang van de zeegrasvelden hebben bewerkstelligd.

5.2 Nutriënten

Groot zeegras is aangepast aan lage nutriëntenconcentraties (Borum et al. 1989, Hemminga et al. 1991, Pedersen & Borum 1992). Verrijking van de waterkolom, met nitraat, ammonium of fosfaat, of een combinatie, kan zowel leiden tot een verhoogde groei van *Z. marina* (Harlin & Thorne-Miller 1981, Bohrer et al. 1995, van Katwijk et al. 1999), als tot een verminderde groei of productiviteit (Burkholder et al. 1992, 1994, Neckles et al. 1993, Williams & Ruckelshaus 1993, Taylor et al. 1995,

Boynton et al. 1996, Nelsen & Waaland 1997, van Katwijk et al. 1997, 1999). De effecten kunnen direct zijn (Burkholder et al. 1992, 1994, van Katwijk et al. 1997, 1999), of indirect, als een gevolg van beschaduwing of zuurstofgebrek door de door nutriënten gestimuleerde groei van algen (Neckles et al. 1993, Williams & Ruckelshaus 1993, den Hartog 1994, Harlin 1995, Short et al. 1995, Taylor et al. 1995). Het negatieve effect van toegenomen algenontwikkeling geldt zowel voor toegenomen fytoplanktonontwikkeling (verhoogde troebelheid), als voor toegenomen epifytenontwikkeling op de bladeren van het zeegras (beschaduwing, bij afsterven soms een verzwaring van het blad waardoor het ook bij hoogwater op de bodem blijft liggen), als voor toegenomen macroalgenontwikkeling (beschaduwing en verstikking, den Hartog 1994).

Nutriëntenverrijking van de sedimenten heeft over het algemeen positieve effecten op Groot zeegras (Orth 1977, Short 1983, Roberts et al. 1984, Short 1987, Kenworthy & Fonseca 1992, Murray et al. 1992, Williams & Ruckelshaus 1993, van Lent et al. 1995). Nutriëntenverrijking van het gehele systeem (verhoogde belastingen) leiden echter meestal tot de verdwijning van zeegrasvelden (b.v. Taylor et al. 1995, Boynton et al. 1996, Short & Wyllie-Echeverria 1996, Brun et al. 2002).

Processen die bijdragen aan de eutrofiëring zijn gerelateerd aan de bevolkingsgroei. Eutrofiëring nam toe tijdens de industrialisatie en de introductie van kunstmest. Van Beusekom (2001) schat dat de eutrofiëring van de Waddenzee sinds begin jaren 1930 is vervijfvoudigd.

In de Waddenzee nam de nutriëntenbelasting toe tot midden jaren 1980, als gevolg van de verhoogde aanvoer door rivieren (b.v. de Jonge & Postma 1974, Höpner 1991, de Jonge 1997). IJssel (via het IJsselmeer) en Eems lozen nutriënten direct in de Waddenzee. Nutriënten in het Rijnwater bereiken de Waddenzee via de kust van Zuid- en Noord-Holland.

Daarnaast is de voedingsstoffenbelasting in de Waddenzee toegenomen door interne eutrofiëring: organisch materiaal dat in de Waddenzee terechtkomt (de Waddenzee is een 'sink', geen 'source' van organisch materiaal), mineraliseert, waarbij anorganische stikstof en fosfaat wordt gevormd (b.v. Postma 1954, Helder 1974, de Jonge & Postma 1974). De invoer van organisch materiaal is voornamelijk toegenomen als gevolg van de verhoogde fytoplanktongehalten in de kustzone van de Noordzee (de Jonge & Postma 1974, de Jonge 1990b, de Jonge et al. 1993).

Tot slot is de nutriëntenbelasting van de Waddenzee toenomen als gevolg van een 2 tot 4-voudige verhoging van de atmosferische depositie van stikstof, uitgaande van een oorspronkelijke belasting van $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (de Jonge & van Meerendonk 1990, Isermann 1990, Houdijk & Roelofs 1991, Schlünzen 1994, Mansfeldt & Blume 1997).

Sinds de jaren 1980 zijn de nutriëtenniveaus in de Nederlandse Waddenzee gestabiliseerd of afgenomen (de Jonge 1997, Philippart et al. 2000, van Beusekom et al. 2001). Vooral fosfaat is sterk afgenomen. Voorts heeft een belangrijke verschuiving plaatsgevonden in de verhouding tussen NH_4 en NO_3 in de input van totaal-N uit de rivieren in de kustzone. Dit is het gevolg van de verbeterde afvalwaterzuivering sinds

de jaren 1970. In de 1970-er jaren was het aandeel NH_4 in totaal-N zo'n 40%, in de 1990-er jaren is het zo'n 5% (van Beusekom et al. 2001). De ammoniumconcentraties in de nazomer en herfst in de Waddenzee (deze kunnen als maat voor de eutrofiëring worden beschouwd volgens van Beusekom et al. (2001), en zijn met name in deze periode van belang voor zeegras i.v.m. ammoniumtoxiciteit, van Katwijk et al. 1997), zijn in de jaren 1990 tot op heden afgenomen (Marijnissen et al. 2001, van Beusekom et al. 2001, bijlage 2). Een verlaging van de ammoniumbelasting en -concentraties is gunstig voor zeegras.

5.3 Zoutgehalte

Groot zeegras komt voor in wateren met zoutgehaltes tussen 5 en 42 PSU (Practical Salinity Unit, vergelijkbaar met promille) (Tutin 1938, Luther 1951). Zeegrassen zijn aangepast aan het zoute milieu door zowel fysiologische als anatomische adaptaties (b.v. Jagels 1983, Tyerman 1989, Arai et al. 1991, Pak et al. 1995, Fukuhara et al. 1996). Over het effect van zoutgehalte op de zeegrassen van het geslacht *Zostera* is het volgende bekend: Pinnerup (1980) vond een positieve correlatie tussen zoutgehalte en zeegrasproductiviteit in een onderzoek naar 3 Deense Groot zeegrasvelden bij zoutgehaltes tussen 13 en 31 PSU, terwijl Wium-Andersen & Borum (1984) geen effect vonden van de seizoensfluctuaties in zoutgehalte op de levenscyclus van een Groot zeegrasveld bij zoutgehaltes tussen 9 en 23 PSU. De productiviteit van een andere *Zostera*, *Z. capensis* Setchell, was negatief gecorreleerd met zoutgehaltes in de range van 15 tot 75 PSU (Adams & Bate 1994). De fotosynthese van *Z. japonica* Aschers. & Graebn. (sub nomine *Z. nana*) was optimaal bij 25 PSU (Ogata & Matsui 1965). Wasting disease, de ziekte die zich begin jaren 1930 over het gehele noordelijk Atlantische kustgebied verspreidde (overzicht in den Hartog 1996), kwam niet voor in gebieden met een laag zoutgehalte, mogelijk als gevolg van de voorkeur van de vermoedelijke ziekteveroorzaker *Labyrinthula* voor zoutgehaltes tussen 22 en 40 PSU (Young 1943, Pokorny 1967, Rasmussen 1977). In laboratoriumexperimenten werd een negatief effect van het zoutgehalte op Groot zeegras aangetoond in de range 23-30 PSU (van Katwijk et al. 1999), en bij vergelijking tussen 22 en 31 PSU (Kamermans et al. 1999).

Kiëming van *Zostera marina* zaden wordt bevorderd door een lage saliniteit (b.v. Hootsman et al. 1987). Met verschillende Waddenzee- en Zuidwest-Nederlandse zeegraszaden bereikt men bij 1 PSU doorgaans 100% kiëming binnen 48 uur. Bij zo'n lage saliniteit overleven de zaailingen echter niet. Waarschijnlijk barst het zaad uit de zaadhuid door opzwellend a.g.v. het osmotische verschil. Als de zo gekiemde zaden overgebracht worden naar water met een hogere saliniteit ontwikkelen de meeste zich goed (ongepubl. resultaten MvK). Kiëmingspercentages bij 30 PSU zijn laag in laboratoriumexperimenten (b.v. Hootsman et al. 1987, Hermus 1995). In het veld daarentegen, met saliniteiten van minimaal 20 PSU (VS) en zelfs gemiddeld 30 PSU (Oosterschelde), komen kiëmingspercentages van 75 tot 100% voor (resp. Churchill 1983, Harrison 1991). Deze veel hogere kiëmingspercentages in het veld vergeleken met de laboratoriumbevindingen kunnen worden verklaard door (1) de kortere duur van de meeste laboratoriumexperimenten, (2) het positieve effect van sediment op de kiëming (mogelijk a.g.v. rottingsprocessen die

de zaadhuid verweken (b.v. Moore et al. 1993, Orth et al. 2000); N.B. teveél rotting geeft sterfte, Hootsman et al. 1987) en (3) de temperatuur dormancy, d.i. een koudeperiode heeft een gunstig effect op de kieming (Hootsmans et al. 1987, Hermus 1995). Het is daarom de vraag of de snelle kieming bij lage saliniteit belangrijk is in ecologisch opzicht. Een snelle kieming is immers niet in het belang van de zeegraspopulatie: zaailingen die in september kiemen, zullen de stormen en koudeperiodes in de herfst en winter zelden overleven.

5.4 Interactief effect saliniteit en nutriënten

In Nederland komt Groot zeegras voor in hetzij zoute wateren (circa 30 PSU) met laag tot matige nutriëntenconcentraties, terwijl het in brakke wateren (15-25 PSU) ook voorkomt bij hogere nutriëntenconcentraties. Een fysiologische basis voor dit verspreidingspatroon werd gevonden in een laboratoriumexperiment waarin een interactief effect van het zoutgehalte en de voedingsstoffenbelasting van het water werd aangetoond. Bij een zoutgehalte van 26 of 30 PSU heeft nutriëntenverrijking een negatief effect, bij een zoutgehalte van 23 PSU heeft het een positief effect (van Katwijk et al. 1999).

Dit interactieve effect is het gevolg van een algemeen principe: als een plant goed door kan groeien, kan hij ook veel stikstof verwerken, het stikstof werkt zelfs stimulerend; als een plant langzaam groeit, kan stikstof niet gebruikt worden, en werkt negatief, uiteindelijk zelfs toxisch (Burkholder 1992, 1994, van Katwijk et al. 1997, 1999). Een langzame groei kan veroorzaakt worden door hoge saliniteit, die productiviteitverlagend werkt (Kamermans et al. 1999), maar ook door gebrek aan fosfaat (interactief effect met stikstof voor *Z. noltii* aangetoond door Brun et al. 2002), of het seizoen (temperatuur en licht): in voorjaar en zomer groeien planten sneller dan in herfst of winter (interactie tussen het effect van stikstof en seizoenen voor *Z. noltii* is aangetoond door Brun et al. 2002).

Gezien de huidige nutriëntenconcentraties en –belasting in de Waddenzee, bestaat er dus een grotere kans op overleving van zeegras op plekken waar het zoutgehalte laag is (Kamermans et al. 1999, van Katwijk et al. 1999). Deze beperking tot plekken met zoetwaterinvloed is waarschijnlijk sterker geworden door de toegenomen nutriëntenbelasting in de Waddenzee in de loop van de twintigste eeuw.

Het zoutgehalteregeime in de Nederlandse Waddenzee is veranderd na de afsluiting van de Zuiderzee door de Afsluitdijk. Het jaarlijks gemiddelde zoutgehalte is iets afgenomen (van der Hoeven 1982), maar de estuariene gradiënt van weleer is vervangen door een variabel regime, waarbij de aanvoer van zoetwater grotendeels wordt geregeld door sluizen.

5.5 Water- en sedimentdynamiek

Het belang van een lage waterdynamiek, zowel golfslag als stroming, voor zeegrasvelden is ook in het westelijke Atlantische gebied bekend (b.v. Fonseca & Bell 1998). Veldexperimenten in de Nederlandse Waddenzee en bestudering van de zonering van zeegras (zie paragraaf 2.2) geven aan dat men onderscheid kan maken in drie typen habitat:

1. gemiddelde maximale orbitaalsnelheid aan de bodem (een maat voor golfdynamiek) gedurende het groeiseizoen $> 0.40 \text{ ms}^{-1}$, geregeld $> 0.60 \text{ ms}^{-2}$: niet geschikt voor zeegras, de planten worden afgerukt.
2. gemiddelde maximale orbitaalsnelheid minder dan 0.40 ms^{-1} zonder extra beschutting (bijvoorbeeld Balgzand, of bij de Wierschuur op Terschelling, waar een groot wad vóór de aanplant de meeste golven kan breken): de planten overleven in een smalle zone rond NAP, maar vanaf -0.20 m NAP verdwijnen ze als gevolg van de langere blootstelling aan golfslag (deze diepte komt ongeveer overeen met 60% van de tijd blootstelling aan golven)
3. gebieden met extra beschutting: hier kunnen de planten tot -0.40 m NAP groeien en incidenteel zelfs tot de laagwaterlijn. Voorbeelden van dit soort plekken zijn: de haven van Terschelling achter een halfhoge dam (-0.50 m NAP); in de Eemsmonding, waar een breed booreiland de golven vanuit open zee opvangt (-0.30 m NAP); en achter stabiele mosselbanken (tot aan de laagwaterlijn), voorbeelden hiervan zijn bekend in Amrum (pers. comm. M. Ruth) en Sylt (pers. comm. K. Reise; Nienburg 1927). Zie voor de interactie tussen mosselbanken en zeegrasvelden figuur 7 en intermezzo 3.

5.6 Visserij/pierensteken

Visserijactiviteiten kunnen leiden tot de complete verwijdering van een veld of delen van een veld (de Jonge & de Jong 1992, de Jonge et al. 1997, van Katwijk 2002, manuscript Bellemakers & de Jong 1995). In de Waddenzee zijn direct versturende activiteiten vooral veroorzaakt door schelpdiervisserij, namelijk de mosselzaad- en kokkelvisserij. De schelpdiervisserij is tegenwoordig verboden in delen van de Waddenzee (b.v. Essink 1992, Dankers 1998). Er is geen gevaar voor bestaande zee-grasvelden te verwachten, aangezien visserijactiviteiten verboden zijn in zeegrasvelden en omgeving. Uitbreiding van zeegrasvelden kan echter wel verhinderd worden; daarom is het van belang om de kansenskaart voor zeegrasgroei in de Waddenzee zo goed mogelijk te verfijnen (paragraaf 3.8) en beschermingsmaatregelen hierop te richten.

Pierensteken kan een serieuze bedreiging voor zeegrasvelden vormen. In een studie van Bellemakers & de Jong (manuscript 1995) wordt de oorzaak van het verdwijnen van 3 zeegrasvelden in de Oosterschelde toegeschreven aan pierensteken. In Balgzand wordt geen probleem van pierensteekactiviteiten verwacht: de plekken die geschikt voor zeegras waren, waren oninteressant voor de pierenstekers (pers. comm. diverse pierenstekers in 1999).

5.7 Fauna

Fauna kan zeegrasontwikkeling beïnvloeden. In de Waddenzee zijn van belang:

- Foerageren op zeegras door vogels. Zeegras in de Waddenzee wordt door de volgende vogels gegeten: Rotganzen (*Branta bernicla* engels Brent Goose), Smienten (*Anas penelope*, engels: widgeon), Wilde eend (*Anas platyrhynchos*, engels mallard) en Pijlstaart (*Anas acuta* engels: Pintail) (Jacobs et al. 1981). Hoewel grote delen van de zeegrasbiomassa kunnen worden weggevreten, is het effect hiervan op het voortbestaan van de zeegrasvelden volgens veel onderzoekers klein. Het zeegras wordt voornamelijk in de herfst gegeten

(b.v. van der Kam et al. 1999, pers. comm. P. Meininger, M. Otter), wanneer stormen, golfslag en veroudering minstens zo veel schade aanrichten (Jacobs et al. 1981, overzicht in Ganter 2000). In de loop van de herfst trekken de rotganzen naar de kwelders en verder landinwaarts. Na de winter doen ze dit in omgekeerde volgorde (pers. comm. D. Bos, B. Ebginge, zie ook Spaans & Postma 2001). Bij eerdere zeegrastransplantaties zijn geen negatieve effecten van vogelvraat waargenomen (Hermus 1995). Uit Sylt zijn voorbeelden van een positief effect van ganzenvraat op het voortbestaan van Klein zeegrasvelden bekend (Nacken & Reise 2000).

- Foerageren op zeegraszaad: Van *Nereis diversicolor* is bekend dat hij Klein zeegraszaden eet (Hughes et al. 2000). Deze Polychaet is echter vooral dominant in de hoogste delen van het wad (gemiddeld circa 70% van de tijd droogvallend, Reise 1985, Hongguang et al. 1995)
- Epifytengrazers: alikruiken en wadslakjes grazen de epifyten van de zeegrasbladeren en hebben daardoor een positief effect (Philippart 1995, Schanz et al. 2000). Wadslakjes (vrnl. *Hydrobia ulvae*) komen vooral voor in slikkiger sedimenten (b.v. Reise 1985), waar beschutting aanwezig is (Schanz et al. 2000). Wadslakjes en alikruiken worden gegeten door strandkrabben (*Carcinus maenas*), dus een hoge dichtheid van strandkrabben kan indirect een negatief effect hebben op zeegras (Reise 1985); strandkrabben kunnen ook een direct negatief effect hebben, zie onder.
- Bioturbatie: omwoeling van zeegras: wadpieren, strandkrabben en andere dieren. Wadpieren (*Arenicola marina*) hebben een negatief effect op transplantaties van Klein zeegras (Philippart 1994). Het is niet bekend of dit effect ook optreedt bij Groot zeegras; vergelijking van vier Nederlandse Groot zeegrasvelden gaf in drie van de vier velden geen enkele correlatie tussen de aanwezigheid van Groot zeegras en de hoeveelheid wadpieren. Alleen op de Roggenplaat in de Oosterschelde bestond een negatieve correlatie tussen zeegrasaanwezigheid en wadpierdichtheid. Opmerkelijk was trouwens het relatief hoge aantal wadpieren in een Klein zeegrasveld in Zandkreek (faecesdichtheid: 75 m^{-2} , vergelijk Klein zeegrasveld in Terschelling 56 m^{-2})
Volwassen strandkrabben kunnen een negatief effect hebben op zeegras; in de Verenigde Staten werden zeegrasaanplanten sterk beschadigd wanneer de dichtheid van krabben groter was dan 1 m^{-1} (Davis et al. 1998). In de Waddenzee is de dichtheid van strandkrabben doorgaans veel kleiner (van der Veer et al. 1998, Dittmann & Villbrandt 1999). Roggen kunnen ook schadelijk zijn voor zeegrasaanplanten (Fonseca et al. 1994), maar deze komen tegenwoordig niet meer voor in de Waddenzee (Lozán et al. 1994, Rijnsdorp et al. 1996). De meeste andere sedimentverstorende dieren (bijvoorbeeld platvissen), zijn alleen in grote getale aanwezig als ze jong zijn, en te klein om werkelijke schade aan te richten (pers. comm. H. & R.M. Asmus, K.Reise)

5.8 Verontreiniging

Een toename in pesticidebelasting is gerelateerd aan een toename in landbouwactiviteiten, die tevens een verhoogd meststoffengehalte met zich mee zullen brengen. Onderzoek naar het effect van pesticiden op

zeegras zijn doorgaans correlatief (b.v. Kastler & Michaelis 1999, Bester 2000, Haynes et al. 2000), zodat niet met zekerheid vast te stellen is of de toegenomen pesticidebelasting ook werkelijk de oorzaak is van achteruitgang van zeegras. De studies van Kastler & Michaelis (1999) en Bester (2000) zijn uitgevoerd in de Oost-Friese Waddenzee. Een achteruitgang van zeegras viel samen met een toename van pesticiden-inputs in de Duitse Bocht. Echter, nader onderzoek naar deelgebieden wees uit dat de velden bij de monding van de Eems ('onze' Eemspopulatie) en de Jade en Weser, niet achteruitgegaan waren (Kastler & Michaelis 1999), terwijl deze plekken relatief de hoogste pesticideconcentraties vertoonden (Bester 2000). De totale pesticideconcentraties in het sediment (atrazine + propazine + terbutylazine + prometryn) bedroegen tussen de 5 en 10 ng/kg nat sediment. Echter, in sediment bindt atrazine zich aan partikels en is dan niet meer beschikbaar voor de plant. Schwarzschild et al. (1994) toonden aan dat *Zostera marina* in het geheel ongevoelig waren voor atrazine (dit is de pesticide die in de Waddenzee de hoogste concentratie bereikt in vergelijking met andere pesticiden, Bester 2000) in hun wortel/rhizoom compartiment. In de waterlaag hebben volgens Kemp et al. (1983) concentraties in het water van 5-10 ppb slechts een klein negatief effect op de fotosynthese van waterplanten zouden hebben indien deze belasting permanent is (en voor *Z. marina* ligt deze waarde nog wat lager, omdat deze relatief ongevoelig is in vergelijking met andere waterplanten). Kemp et al. (1983) merken op dat een stof als atrazine zich snel aan sedimentdeeltjes en colloïden bindt, en is de afbraak van partikelgebonden atrazine nog sneller dan van ongebonden atrazine. Schwarzschild et al. (1994) vonden pas een effect van atrazine in de waterlaag bij $1900 \mu\text{g l}^{-1}$. Ter vergelijking, in de Waddenzee bereikt atrazine maximale concentraties van $0.2 \mu\text{g l}^{-1}$, (dit gebeurt incidenteel in de Eems, de Jong et al. 1999). Volgens Marijnissen et al. (2001) vormt atmosferische depositie verreweg de grootste bijdrage aan de totale vracht van atrazine naar het Waddenzeegebied (vrachten in de zoetwaterspuien zijn onvoldoende gemeten om trends te kunnen vaststellen). De atmosferische depositie is met meer dan 60% afgenomen over de periode 1985-1990 (model Baart et al. 1995 in Marijnissen et al. 2001).

Antifoulingstoffen kunnen waarschijnlijk plaatselijk zeegrasvelden aantasten, zoals in het Grevelingenmeer werd waargenomen in de nabijheid van een haven (pers. comm. D.J. de Jong / J. Verschuren). Ook in laboratoriumexperimenten werd gevoeligheid van *Zostera marina* voor antifouling Irganol geconstateerd (Scarlett et al. 1999). Irganol is een zeer effectief algicide, net als andere *s*-triazines zoals atrazine en simazine. In het algemeen binden triazines niet aan sedimenten, en worden conservatief verdund met zeewater. Mogelijk levert deze stof een gevaar op voor Groot zeegras. Meer onderzoek is nodig.

TBT-waarden in de Waddenzeesedimenten in Oost-Friesland zijn telkens hoger in de riviermondingen (de Jong et al. 1999), hetgeen tevens de plaatsen zijn waar het zeegras niet achteruitgegaan is (Kastner & Michaelis 1999), dus waarschijnlijk vormt TBT geen grootschalig probleem voor zeegras in de Waddenzee. De TBT-sedimentconcentraties in de westelijke Waddenzee zijn vergelijkbaar met die in de Oostelijke Waddenzee (de Jong 1999). De vrachten TBT worden niet gemeten in

zoetwaterspuien; alleen in de Noordzee zijn vrachten gemeten in 1998 en 1999: resp. 220 en 327 kg per jaar (Marijnissen et al. 2001)

In het algemeen worden de pesticidenconcentratie en vrachten niet of slechts incidenteel gemeten in het Waddenzee water en de spuien, behalve linaan: hiervan zijn de vrachten afgenomen in een aantal spuien alsmede in de atmosferische depositie. Wel was er in 1990 een uitschieter in Den Helder van 12 kg ($0.053 \mu\text{g.l}^{-1}$ in het spuiwater). Ter vergelijking: de atmosferische depositie bedraagt 300 kg (de Jong et al. 1999, Marijnissen et al. 2001). Door de schaarse gegevens over de vrachten en concentraties pesticiden in de Waddenzee, en de beperkte hoeveelheid studies naar effecten van pesticiden op zeegrassen, is het niet mogelijk om uitspraken te doen over risico's van pesticiden voor zeegrassen in de Waddenzee.

Zware metalen kunnen een negatief effect hebben op zeegrassen (b.v. Ralph & Burchett 1998), hoewel de concentraties in estuaria doorgaans geen toxische niveaus bereiken (Williams et al. 1994). De meeste studies focussen meer op het mogelijke gebruik van metalenconcentraties in zeegrasweefsels als biomonitor voor zware metalenverontreiniging dan op toxische effecten van zware metalen op zeegras (b.v. Sanchiz et al. 2000). De zware metalenconcentraties zijn afgenomen in de Waddenzee (de Jong et al. 1999).

5.9 Locale factoren:

5.9.1 Laagje water, locale beschutting en sedimenttype

De aanwezigheid van een permanent laagje water boven het sediment tijdens laagwater heeft een positief effect op de overleving van zaailingen, en een relatief modderig substraat geeft een hoger kiemingspercentage (van Katwijk & Wijgergangs 2000). Daarom is selectie van de locaties ook op locale schaal belangrijk. Het aanbrengen van beschutting zal beide factoren, een permanent laagje water boven het sediment tijdens laagwater en een modderiger sedimenttype, bevorderen.

5.9.2 Plaatselijk laag zoutgehalte

Vergelijking van sedimenteigenschappen van begroeide delen van Nederlands zeegrasvelden met onbegroeide delen, leerde dat het zoutgehalte in het sediment veel hoger is in onbegroeide dan in begroeide delen. Het verschil bedraagt 5 tot 14 PSU. De vraag is natuurlijk of dit een gevolg is van de begroeiing, of een oorzaak voor de begroeiing. Als er op wadvlaktes zonder zeegrasveld een dergelijk mozaïek aan bodemsaliniteiten bestaat, is het aan te raden de aanplant van zeegras op plekken met de laagste zoutgehaltes uit te voeren.

5.10 Klimatologische factoren

Zeegrasaanplant in de Waddenzee is gevoelig voor toevallige klimatologische omstandigheden (Hermus 1995, den Hartog 1996, van Katwijk & Hermus 2000). Bijvoorbeeld een vroege verzoeting van het water (in januari) a.g.v. extreme regenval in het binnenland kan voortijdige kieming bewerkstelligen, waarna de zaailingen kunnen verdwijnen bij een daaropvolgende vorstperiode. Daarnaast kan golfwerking de aanplant

doen verdwijnen. De intensiteit van golfbewegingen hangt met name af van de ligging en de windrichting. Het effect van windrichting wordt door het volgende voorbeeld geïllustreerd: een aanplant in 1991 bij Texel tot -0.75 m NAP bleef volledig behouden gedurende een groeiseizoen, terwijl een aanplant in 1993 op dezelfde plek binnen een week verdween. Dit was een tamelijk geëxponeerde plek waar de wind in 1991 gunstig was, en in 1993 ongunstig.

Stormen zijn bij uitstek onvoorspelbare, klimatologische gebeurtenissen die grote gevolgen voor zeegrasvelden kunnen hebben. Zo beschreef Martinet (1782) het volledig onderzanden van een Groot zeegrasveld vlak onder Vlieland na een harde storm. Later (in ieder geval in de twintigste eeuw) werd overigens weer melding gemaakt van zeegrasvelden onder Vlieland (den Hartog & Polderman 1975)

Ijsgang is een andere onvoorspelbare, klimatologische factor die gevolgen voor zeegrasvelden kan hebben. Relaties tussen koude winters en afnemende zeegrasarealen zijn bekend van de Grevelingse zeegraspopulatie en de Waddenzeepopulaties (Nienhuis et al. 1996, Morelissen 2002, respectievelijk). Ook in de Verenigde Staten bleken zeegrasaanplanten in de getijdenzone kwetsbaar voor ijsgang (Davis & Short 1997). De zeegrasvelden en -aanplanten in de getijdenzone zijn sowieso erg kwetsbaar in de Verenigde Staten, omdat het getijverschil erg klein is, waardoor alle watergerelateerde krachten (golfslag, ijsgang) langduriger op eenzelfde plek inwerken. Om die reden zijn in de VS ook weinig velden rond NAP.

Ijsgang en stormen kunnen ook mosselbanken doen verdwijnen. Wel komen ze meestal op ongeveer dezelfde plek weer terug (Dankers & Koelemaij 1989)

Intermezzo 3. Zeegrasvelden en mosselbanken

Het herstel van stabiele mosselbanken* ten behoeve van Groot zeegrasherstel, bij wijze van stabilisatietechniek heeft een groot aantal voordelen. Achter en tussen goedontwikkelde mosselbanken* ontstaan namelijk luwtes. Op die plaatsen (1) is de productiviteit van de plant hoger dan in turbulent water, (2) gaan er minder planten verloren bij storm, (3) blijft een groter deel van de losdrijvende zaadstengels in het gebied zelf, (4) ontstaan modderige plekken (fijne textuur), waardoor de kieming bevorderd wordt (van Katwijk en Wijgengangs 2000), en (5) blijft de wadbodem langer vochtig, zowel door fijnere textuur waardoor het water minder snel in de bodem zakt, als door de vertraging in de oppervlakkige afstroming van het water door de barrière. In een vochtige bodem komen zaailingen sneller tot ontwikkeling en breiden zich sneller uit (van Katwijk & Wijgengangs 2000).

Op de Noord-Duitse Waddeneilanden Sylt en Amrum zijn voorbeelden bekend van goed ontwikkelde zeegrasvelden achter stabiele mosselbanken. Hier bereiken de velden een diepte tot aan de laagwaterlijn. (Zonder beschutting groeit dit type zeegras niet dieper dan tot circa 20 cm onder NAP.)

Een positieve interactie tussen mosselbanken en zeegrasvelden, wordt ondersteund door een recente vondst in de bijlage van een oud rapport, waarin de bevindingen van een commissie die in de dertiger jaren, vlak na de zeegrascatastrofe, vele plekken in de Waddenzee bezocht (Reigersman 1939): p. 29: "Na eenig zoeken werd hier [Zwin van Griend] inderdaad zeegras gevonden; het stond zonder uitzondering tusschen de mosselen; in de gedeelten, waar geen mosselen lagen, ontbrak het volkomen [voetnoot:] Men kan zich voorstellen, dat op deze wijze eventuele herbegroeiing van de platen zou kunnen optreden. Op de thans afgeschuurde oude zeegras-velden krijgt de plant vrijwel geen kans zich weer te vestigen. Wanneer zich echter eenmaal mossels vastgezet hebben, die tevens slik vormen, is een nieuwe basis gevormd, waartusschen het zich ontwikkelende zeegras zich zou kunnen handhaven. In 1934 heeft zich dit geval in werkelijkheid voorgedaan op Lutjeswaard, waar toen weer een opmerkelijke opbloei van zeegras op een met mossels bedekt deel van deze waard is opgetreden." P. 24: [Steenkoolplaat, Balgzand] "Ondanks het vallende tij blijft het water hier lang staan doordat mosselbulten, waarop klappers en andere algen groeien, vrijwel ondoordringbare dijkes vormen, waartusschen plassen blijven staan. Trapt men zoo'n dam door, dan loopt uit de omsloten plas onmiddellijk veel water weg. In deze plassen komt overal zeegras voor [...] In het Z. deel, waar ook de mossels het dichtst staan en het dammensysteem het best ontwikkeld is, is ook het zeegras in de achtergebleven plassen het meest florissant."

*Onder stabiele of goed ontwikkelde mosselbanken worden mosselbanken met een natuurlijke leeftijdsopbouw inclusief oude mossels verstaan, zie Dankers & Zuidema 1995.

6 Is een nieuwe transplantatie verantwoord?

6.1 Is de Waddenzee geschikt voor zeegras?

Begin jaren 1990 werden visserijactiviteiten op een aantal plaatsen verboden, bleek het water helderder te zijn geworden (de Jong & de Jonge 1992, de Jonge et al. 1996, Dankers 1998), en de nutriëntenbelasting is afgenomen, met name de fosfaat- en ammoniumbelasting (van Beusekom et al. 2001, zie paragraaf 5.2). Zware metalen en organische stofbelasting zijn eveneens afgenomen (de Jonge et al. 1993, de Jong et al. 1999, van Beusekom et al. 2001, zie ook hoofdstuk 5); pesticidenbelastingen zijn over het algemeen onvoldoende opgenomen in het meetnet van Rijkswaterstaat om uitspraken te kunnen doen over trends (Marijnissen et al. 2001).

Samengevat is het milieu dus verbeterd in een aantal voor zeegras belangrijke opzichten: helderheid van het water, plaatselijk schelpdiervisserijverbod, verminderde meststoffenbelasting (fosfaat en ammonium). Toch kan men niet zeker weten of de verbetering voldoende is. Er zijn echter de volgende aanwijzingen dat de herintroductie van Groot zeegras grote kans van slagen heeft:

-Bij beschutting zoals in het mesocosmbassin en een waterkwaliteit zoals in het Marsdiep, kunnen de planten zich goed handhaven en voortplanten (mesocosmexperimenten Wijergangs 1991, Westerveld & Verschuren 1992, Janssen 1996, van Katwijk et al. 1998).

-Een pilot uitzaaiing die in december 1998 werd ingezet in het Balgzand bleef tenminste gedurende twee groeiseizoenen gehandhaafd (ongepubliceerde resultaten)

-Bij Terschelling en de Eemsmonding komt dit type zeegras nog voor.

-In de toekomstige aanplant zijn maatregelen genomen om de tot nu toe ervaren knelpunten op te lossen. De voornaamste zijn (zie ook de hoofdstukken 7 Selectie aanplantlocaties en 9 Plan van Aanpak):

- risicospreiding in ruimte en tijd,
- opschalen (ter plekke opkweken) van de aanplant: gedurende circa 2 jaar zal het wegdrijven van de zaadhoudende stengels worden voorkomen, zodat de aanplant een grotere omvang heeft en meer kans heeft om zelf de losdrijvende zaadhoudende stengels in te vangen,
- selectie van aanplantlocaties met verlaagde saliniteit, en enigszins beschutte ligging (Balgzand),
- aanleg extra beschuttingsmaatregelen bij -0.30 m NAP.

6.2 Welke donorpopulatie is geschikt?

In bassin studies en bij experimentele aanplanten zijn populaties getest die afkomstig zijn uit Roscoff (Frankrijk), Grevelingenmeer, Oosterschelde, Terschelling haven, Eems, Sylt, Yderfjorden (Oostzee, Dene-marken) (van Katwijk & Schmitz 1993, Janssen 1996, van Katwijk et al. 1998, van Katwijk & Wijergangs 2000). De Nederlandse en Syltse planten bleken in principe geschikt te zijn. Om de ingreep niet onnatuurlijker te maken dan nodig, werd het wenselijk geacht om voor een Waddenzeepopulatie te kiezen, liefst zo dicht mogelijk bij de aanplantlocatie gelegen. Dat zou de Terschellinger populatie zijn. Er zijn echter aanwijzingen dat de populatie bij Terschelling relatief iets minder geschikt is dan de andere: in uiteenlopende experimenten bleken Terschellingse

planten telkens slechter te overleven dan planten uit Eems of het noordelijke Sylt (Janssen 1996, van Katwijk et al. 1998, van Katwijk & Wijgergangs 2000)⁹.

De Eemspopulatie is voorts vele malen groter dan de Terschellingse en zuidoostelijke Duitse populaties, waardoor het betrekken van planten uit dit gebied een nog minder merkbaar effect zal hebben. Ook uit overleg met diverse experts bleek dat de Eemspopulatie als meest geschikt wordt gezien (pers.comm. D.d.Jong, J. Olsen), om genoemde redenen. Duitse zeegraspopulaties liggen grotendeels in beschermd gebied.

De Groot zeegraspopulatie op de Hond/Paap (Eemspopulatie) is een relatief stabiele populatie: de populatie is al vanaf de zeventiger jaren bekend en aanwezig gebleven (van den Hoek et al. 1979, de Jong 2000). In 2000 stond er 134 ha zeegras, in 2001 187 ha (pers.comm. D.J. de Jong). De mosselbevissing in mei 2001 op de Hond/Paap was beperkt tot een gebiedje waar geen zeegras stond, of hooguit enkele verdwaalde exemplaren (pers. comm. J. de Vlas, S. Braaksma).

⁹ Deze wat mindere performance, gecombineerd met het krimpen van de Terschellingpopulatie doen vermoeden dat hier sprake is van een uitstervende populatie. Mogelijk is de genetische diversiteit als gevolg, of als oorzaak, klein. Uit plantexperimenten elders in de wereld is gebleken dat een zekere genetische diversiteit belangrijk is in de aangeplante populaties (Williams & Davis 1996, Williams 2001); weinig diversiteit heeft desastreuze gevolgen als er iets verandert in het lokale milieu.

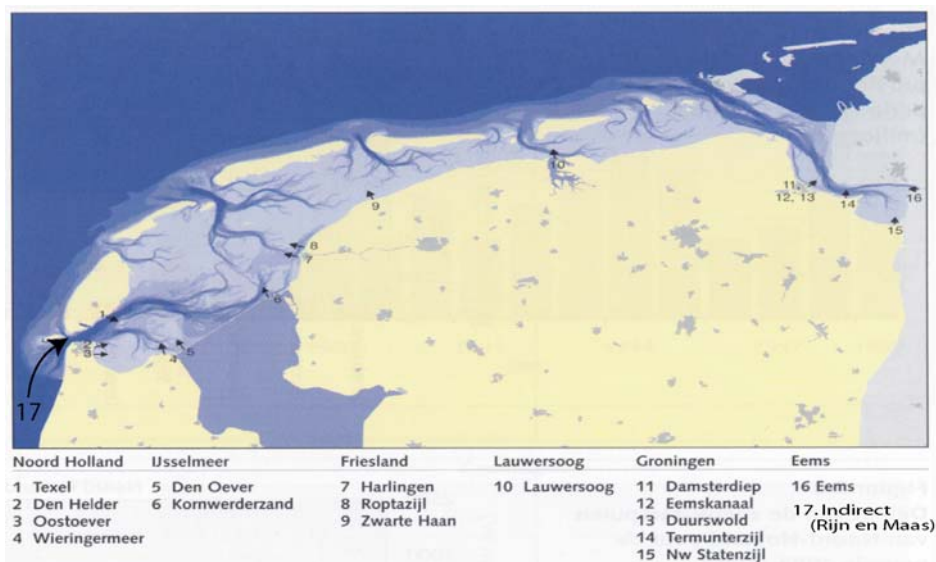
7 Selectie aanplantlocaties

7.1 Criteria bij selectie van aanplantlocatie

Uit de inventarisatie van bestaande en opgedane kennis, beschreven in de voorgaande hoofdstukken, komen de volgende criteria voor de selectie van aanplantlocaties naar voren¹⁰:

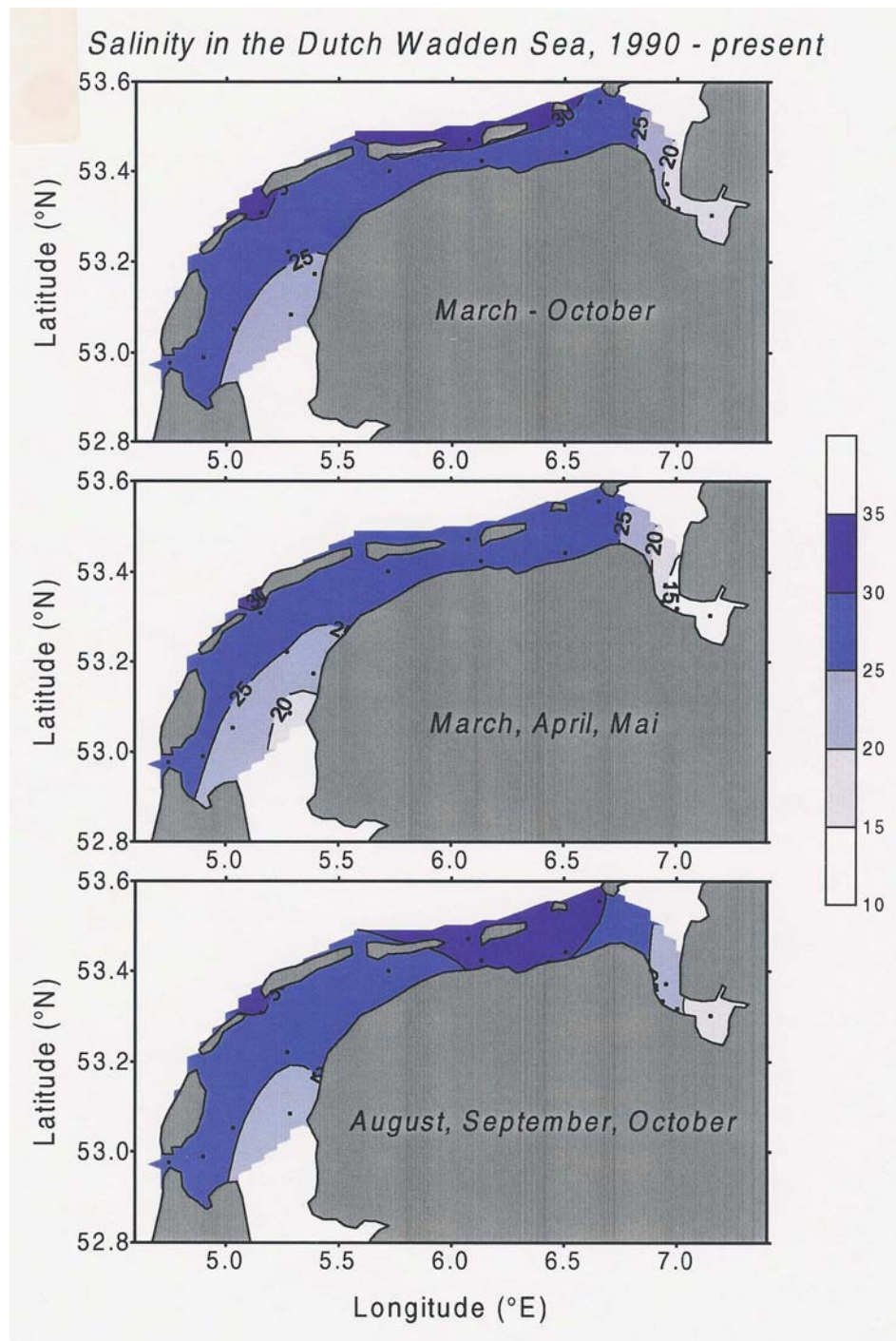
1. Er moet enige zoetwaterinvloed zijn (figuur 2 en 3)
2. Het moet een beschutte ligging hebben
3. Het moet een voormalige zeegraslocatie zijn
4. Er mogen uiteraard geen schelpdiervisserijactiviteiten zijn toegestaan. Ook niet in de wijde omgeving i.v.m. uitbreidingsmogelijkheden. Geregelde controle van naleving is hierbij wenselijk.
5. Het gebied moet in de westelijke Waddenzee liggen omdat het Groot zeegras in dit gebied volledig ontbreekt. Daarbij is de kans op herkolonisatie vanuit het oosten nihil (tenzij op geologische tijdschaal), omdat de windrichting overwegend westelijk is in NW Europa, en ook de overheersende stromingsrichting ten gevolge van getij oostwaarts is (pers.comm. M.van Wieringen / W. Bartelds)
6. Het gebied moet door Waddenzee- en zeegrasexperts als kansrijk worden aangemerkt (geraadpleegd en/of betrokken bij de beslissing waren: Victor de Jonge, Dick de Jong, Jakob Asjes, Albert Oost, Jaap de Vlas, Karel Essink)

Het Balgzand voldoet als enige aan deze criteria. De specifieke vraag waarom het zeegras indertijd op het Balgzand verdwenen is, kunnen we alleen in algemene termen beantwoorden, zie vorige hoofdstuk. De handhaving van een gezaaide populatie gedurende twee jaar, ondersteunt de tegenwoordige geschiktheid van het Balgzand (zie vorige paragraaf).



Figuur 2. Overzicht van zoetwateraanvoerpunten in de westelijke Waddenzee (overgenomen van Morelissen 2002, met toevoeging van punt 17).

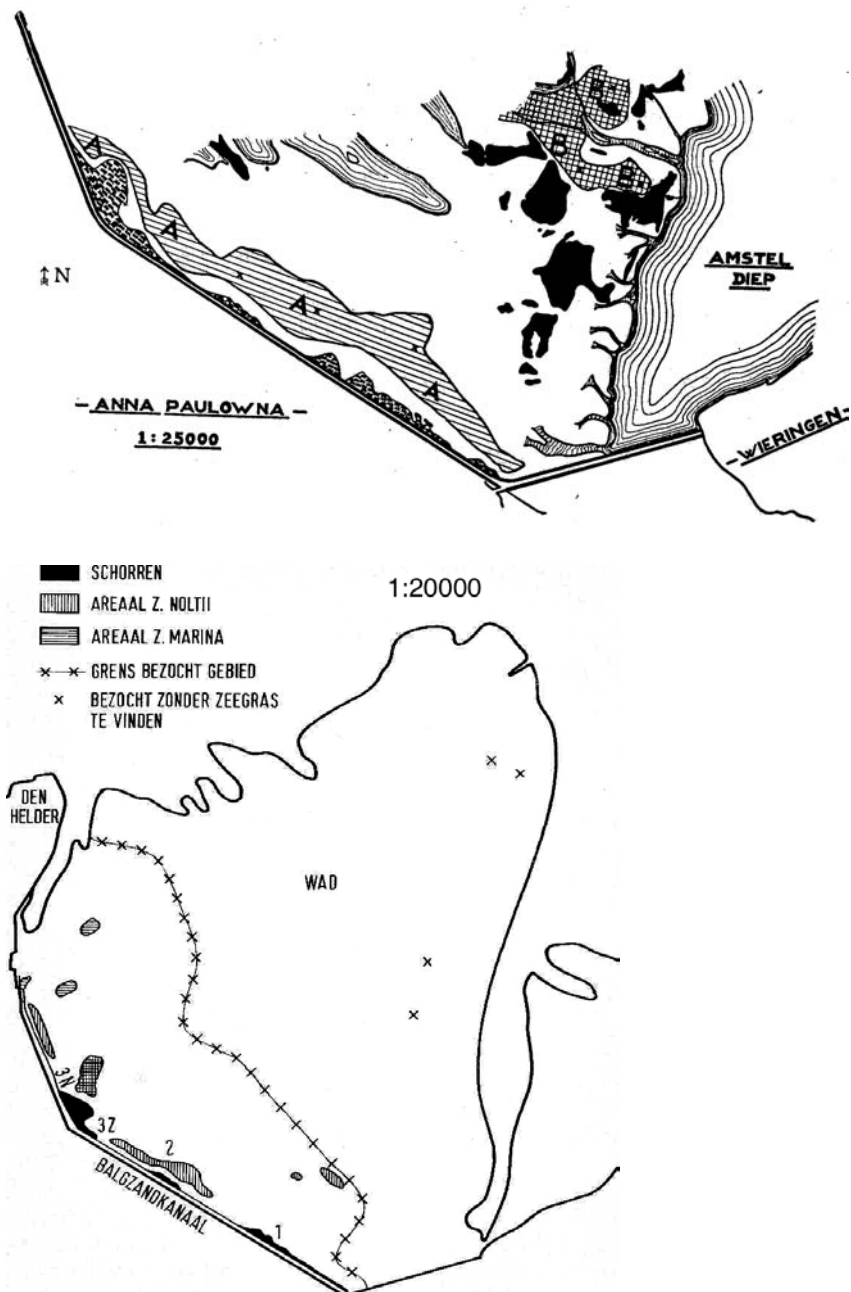
¹⁰ Er is geen hiërarchie in deze opsomming, alle zes criteria zijn even belangrijk



Figuur 3. Zoutgehaltes in de Waddenzee op basis van interpolatie van meetgegevens in de geulen over meerdere jaren (1990-1996, met dank aan Dr. J.E.E. van Beusekom)

7.2 Zeegrasgeschiedenis van het Balgzand

In figuur 4 wordt de ligging van de zeegrasvelden op Balgzand begin jaren 1930, en in 1972 weergegeven. De nu geselecteerde locaties liggen verder van de kust dan de meeste historische zeegrasvelden. Dit gebied is echter in de loop van de tijd langzaam opgeslibd. Waar vroeger zeegrasvelden lagen, is het nu veel te 'droog' (enkele decimeters boven NAP).



Figuur 4. Zeegrasvoorkomens op het Balgzand, (boven) begin jaren 1930 (Harmsen 1936) en (onder) in 1972 (Polderman & den Hartog 1975).

7.3 Vondst van *Ruppia* op het Balgzand

Uit de vondst van *Ruppia maritima* (pers. comm. M. Otter, R. van 't Veer) in het Balgzandgebied in 2001¹¹ rees twijfel: is het gebied misschien te brak geworden? Er zijn echter geen waterstaatkundige veranderingen in het gebied opgetreden in de afgelopen decennia. De sluizen bij Oostoever zijn geautomatiseerd, maar de programmering is gelijk aan de voorschriften die voor de handmatige sluisbediening golden. In de praktijk echter zou een klein verschil op kunnen treden: handmatige bediening zou een iets hogere aflat kunnen opleveren (pers. comm. M. Ot-

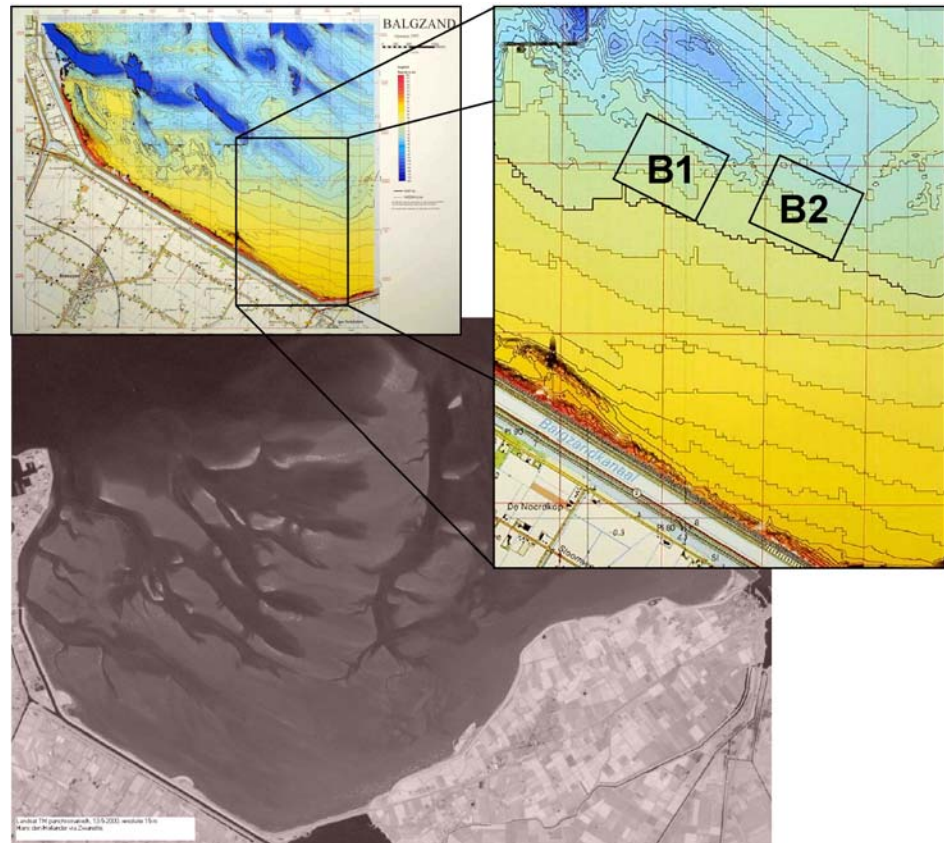
¹¹ *Ruppia* werd ook tijdens onze locatieverkenningen in mei 2002 aangetroffen (identificatie C. den Hartog).

ter). Dus als er al een verschil is, zou het eerder een minuscule verhoging dan een verlaging van het zoutgehalte inhouden.

Incidentele metingen in voorjaar 2002 wezen zoutgehaltes van water en sediment aan tussen 20 en 24 PSU (sediment: 20-23 PSU; water 23-24 PSU).

7.4 Locale selectie van aanplantlocaties

Een zestal bezoeken aan Balgzand met verschillende experts (zie onder en kaartje in bijlage 3), waarbij drie maal tevens hoogtemetingen werden verricht (door de Informatiedienst water van RWS Dir. N.Holland), heeft de locaties opgeleverd zoals weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Aanplantlocaties voor zeegras (B1 en B2).

Belangrijke criteria ter plaatse waren:

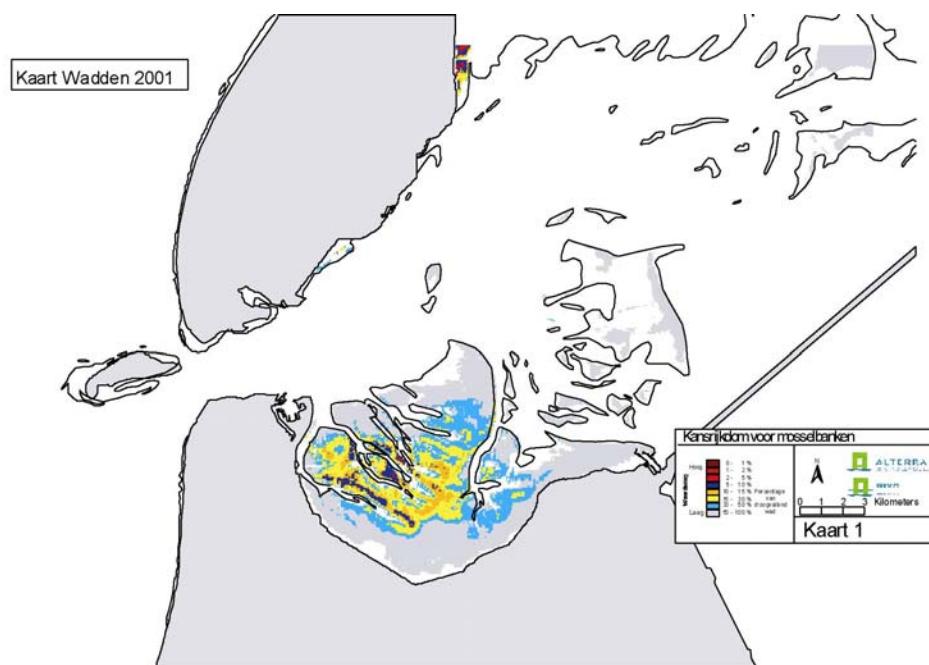
- de aanwezigheid van een strook van 0 NAP en nabijgelegen ook een strook van -0.30 (-0.20 - -0.40) m NAP, beide van 250 - 300 m lengte,
- een geschikt sediment: niet te zandig, en niet te slikkig. Te zandig betekent dat de plek te geëxponeerd is, te slikkig zou problemen kunnen opleveren met de sterke macroalgengroei, zoals zeesla en darmwier); dit is gerelateerd aan beschutting.
- indien mogelijk een slechte afvloeiing, zodat er zo lang mogelijk een laagje water blijft staan tijdens laagwater.

Zoutgehaltemetingen in het bodemwater wezen een geringe variatie in zoutgehalte uit (zie vorige paragraaf). Dit valt binnen de normale variatie in een gebied, en wijst niet op werkelijke locale verlaagde zoutgehaltes.

Locale depressie konden niet worden gevonden omdat bij ieder bezoek het water niet volledig afvloeiende: in het gehele gebied bleef een permanente laag water staan tijdens laag water. In de zomer, op warme dagen, met een lange droogvalduur is dit wellicht anders. Bij de aanplanten in 2003 kan hiermee rekening worden gehouden. Dan zullen eventuele in de zomer van 2002 zichtbare locale depressies worden geselecteerd voor ieder van de aanplantplots voor 2003.

De geselecteerde locaties voldoen aan deze criteria. Ze verschillen op het oog onderling vrij weinig in sedimentsamenstelling, plek B1 heeft in mei een iets harder sediment dan plek B2 (schatting: 0.5-1 cm wegzakken versus 1-1.5 cm wegzakken), het sediment op de NAP-plekken is vergelijkbaar met het sediment op de diepere (−0.30 m NAP) plekken. Binnen de range van sedimenten waarop zeegras voor kan komen, is het sediment gemiddeld tot iets harder dan gemiddeld¹². Omdat het een er ook extra beschutting wordt aangebracht bij −0.30 m NAP is dit wenselijk. Door de beschutting zal er enige opslibbing optreden, indien het sediment heel slikkig zou zijn, zou het wellicht te slikkig worden (met meer kans op macroalgen (veldwaarnemingen MvK).

De aanplantlocaties zijn bezocht en geschikt bevonden door zeegras- en wadexperts (alfabetisch): Norbert Dankers, Dick de Jong, Jaap de Vlas, Zwanette Jager, Marieke van Katwijk. De plekken bij −0.30 m NAP zijn ook geschikt voor de aanleg van mosselrichels (figuur 6 en genoemde experts), en ligt ook vlak bij de uitloper van de meest westelijke geul in het Balgzand, hetgeen gunstig is voor mosselbanken.



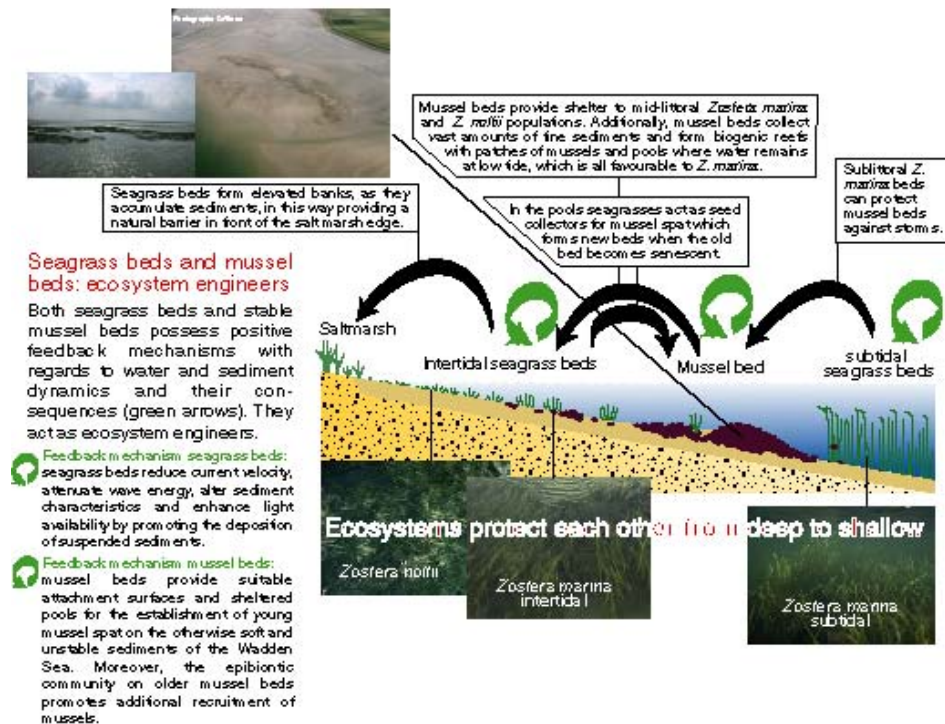
Figuur 6. Mosselkansenkaart (met dank aan B. Brinkman)

¹² In juni 2002 (tijdens het aanplanten) bleek het sediment slikkiger te zijn geworden: 3-5 cm wegzakken.

8 Visie op herintroductie.

8.1 Ruimtelijk: zonatie

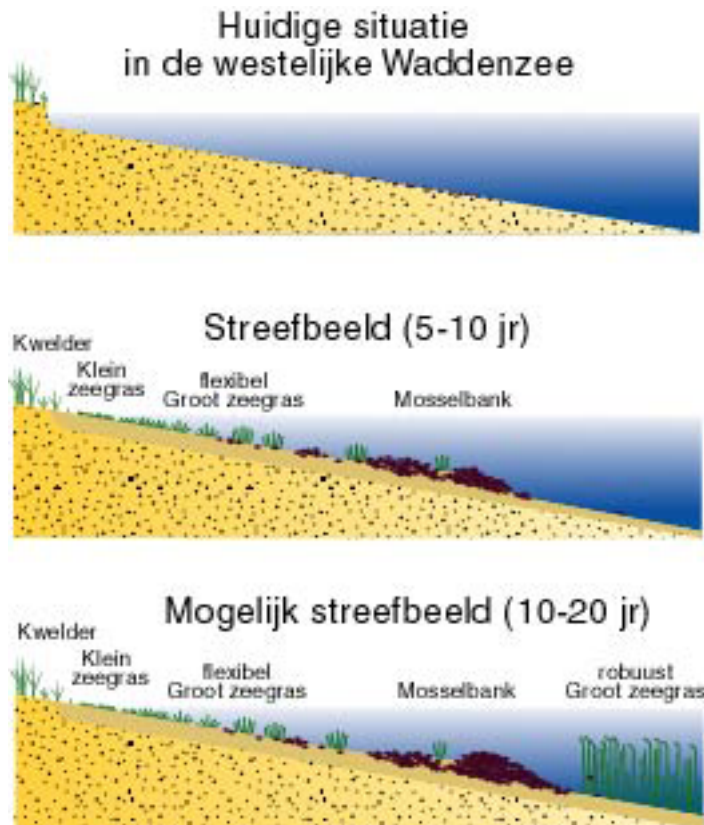
Het zeegrasherintroductieproject past binnen een bredere visie op een natuurlijke kustzonatie. Langs een enigszins beschutte kust kunnen twee typen Groot zeegras voorkomen, ieder op een andere diepte t.o.v. NAP (zie hoofdstuk 2), met daartussen, en overlappend met beide, stabiele mosselbanken¹³. De drie systemen oefenen positieve invloeden op elkaar uit, die zijn uitgewerkt in figuur 7, (zie ook intermezzo 3).



Figuur 7. Samenhang tussen de verschillende zones in de kustgradiënt.

Herstel van de kustgradiënt zou in twee fasen kunnen worden uitgevoerd (figuur 8). In het onderhavige voorstel wordt het middelste streefbeeld (5-10 jaar) beoogd. Over 10-20 jaar zou het robuuste type Groot zeegras geherintroduceerd kunnen worden. Eerst zou dan onderzocht moeten worden of er nog geschikte donorpopulaties aanwezig zijn in de omgeving (bijvoorbeeld Frankrijk, Engeland of Denemarken). Het mogelijke streefbeeld over 10-20 jaar is dynamisch (dus geen statische situatie), zoals ook de Waddenzee dynamisch is. Dit wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

¹³ Mosselbanken met een natuurlijke leeftijdsopbouw, die gedurende langere tijd blijven bestaan, zie Dankers & Zuidema 1995 en Nehls et al. 1997)



Figuur 8. Visie op de fasering van natuurherstel van de kustgradiënt.

8.2 Dynamiek

In een ongerepte Waddenzee komen ook populaties voor op (plaatselijk) onbeschutte plekken, die aldaar een dynamisch bestaan leiden. Dit blijkt uit gegevens van Martinet (1782), Oudemans et al. (1870) en den Hartog & Polderman (1975), maar ook uit de recente verspreidingsonderzoeken van Rijkswaterstaat (de Jong 2000, www.zeegras.nl). Op dezelfde wijze is het ook bekend dat stabiele mosselbanken bij tijd en wijle weggevaagd werden door stormen, waarna ze zich op dezelfde plek, of niet ver daarvandaan, herstellen (Dankers & Koelemaij 1989). Herstel is mogelijk als er voldoende zaadbronnen aanwezig zijn. Dit geldt ook voor de terugkeer van dynamische Groot zeegrasvelden. In de huidige situatie, met geen enkele zaadbron in de nabijheid, is directe terugkeer naar dynamische velden onmogelijk. Via de aanleg van enigszins stabiele groeikernen bij wijze van refugia is dit wél mogelijk.

Om het Groot zeegras werkelijk een kans te geven dienen gebieden die voor zeegras geschikt zouden kunnen zijn (deze kunnen met behulp van een zeegraskansenkaart (zie paragraaf 3.8) worden aangewezen), gesloten te worden voor schelpdiervisserij. Zoals uit bovengenoemde oude en recente bronnen blijkt, kan men immers niet verwachten dat zeegrasvelden op de precies dezelfde plek blijven liggen in een dynamisch systeem als de Waddenzee.

9 Plan van Aanpak

9.1 Inleiding

Uit voorgaande blijkt dat de actieve restauratie die Rijkswaterstaat voorstelt, nodig is om herstel van de zeegrasvelden in de westelijke Waddenzee te bewerkstelligen. Om de grootte van de ingreep in dit natuurgebied zoveel mogelijk te beperken, is in het plan van aanpak gekozen voor het ontwikkelen van een technologie waarbij slechts een kleine aanplant nodig is: circa 5000 zaailingen, hetgeen neerkomt op het verwijderen van circa 80 m² in een natuurlijk veld gedurende het tweede jaar; in het eerste en derde jaar wordt respectievelijk circa 50 en circa 35 m² verwijderd (overigens zullen de planten verspreid worden gesampled zodat er in feite sprake is van uitdunning).

We stellen een zestal maatregelen voor om de overlevingskansen van Groot zeegras te optimaliseren, op basis van de kennis en ervaring zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. (1) Zorgvuldige selectie van de locatie op regionale schaal en (2) op locale schaal, (3) optimaal behoud van geproduceerde zaden door het wegdrijven van zaadstengels te verhinderen, (4) aanleg van beschutting opdat een grotere diepte bestreken kan worden - oftewel risico's spreiden in de ruimte (diepte), (5) risicospreiding in de tijd en ruimte (verschillende locaties) en (6) zorgvuldige donorselectie met een zo groot mogelijke genetische diversiteit. Dit wordt hieronder uitgewerkt.

9.2 Uitwerking op hoofdlijnen

Ad 1. Zorgvuldige selectie van de aanplantlocaties op regionale schaal: gebieden met relatief lagere zoutgehaltes (van Katwijk et al. 1999) en een relatief beschutte ligging (van Katwijk & Hermus 2000). Oude zeegraslocaties hebben een voorkeur. Er is gekozen voor de locatie Balgzand (zie hoofdstuk 7) en een kleine aanplant achter een natuurlijke mosselbank in Mokbaai (Deze laatste locatie is geselecteerd m.b.v. de expert opinion van de projectgroep zeegras 1999-2000 en expert opinion Dr. N. Dankers, waarbij extra criteria waren dat er een natuurlijke mosselbank aanwezig moest zijn, en de locatie bereikbaar moest zijn vanaf het land).

Ad 2. Zorgvuldige selectie van de aanplantlocaties op locale schaal: plekken met slechte afwatering waardoor boven het sediment een laagje water blijft staan tijdens laagwater, indien mogelijk plekken met plaatselijk verlaagde zoutgehaltes in het sediment, en plekken met plaatselijke beschutting voor de dieptes groter dan -0.10 m NAP (van Katwijk & Wijgergangs 2000, van Katwijk & Hermus 2000).

Ad 3. Uitstroming van zaaddragende stengels zal verhinderd worden (vanaf eind augustus gedurende 4-6 weken). Dit wordt gerealiseerd door (methode 1) netten over het sediment te spannen of (methode 2) zaadstengels in te graven. Op deze wijze zal het grootste deel van de productie op nieuw in het veld geïnvesteerd worden. Door een vrij grote maaswijdte te kiezen en de netten strak over het sediment te spannen, waarbij de netten door een hoog soortelijk gewicht ook bij hoogwater op de grond blijven, kan het risico voor verstrikking door vogels verminderd worden, hoewel niet uitgesloten.

Ad 4. Aanbrenging van beschutting op dieptes vanaf -0.20 m NAP. Toelichting: Groot zeegras overleeft transplantatie naar locaties die tussen 0 en -0.10 m NAP zijn gelegen gedurende één groeiseizoen (van Katwijk & Hermus 2000), en onder gunstige omstandigheden ook meerdere seizoenen (ongepubliceerde resultaten). Vanaf -0.20 m NAP is aanvullende bescherming nodig (van Katwijk & Hermus 2000). Die bescherming kan bij natuurlijke populaties voorkomen door bijvoorbeeld een omringende dam (Terschelling), een algeheel zeer beschutte ligging o.a. door aanwezigheid boorplatform (Eemsmonding), en de aanwezigheid van stabiele mosselbanken (Sylt diverse voorbeelden, pers. comm. Prof.dr. K. Reise, Amrum diverse voorbeelden Dr. M. Ruth).

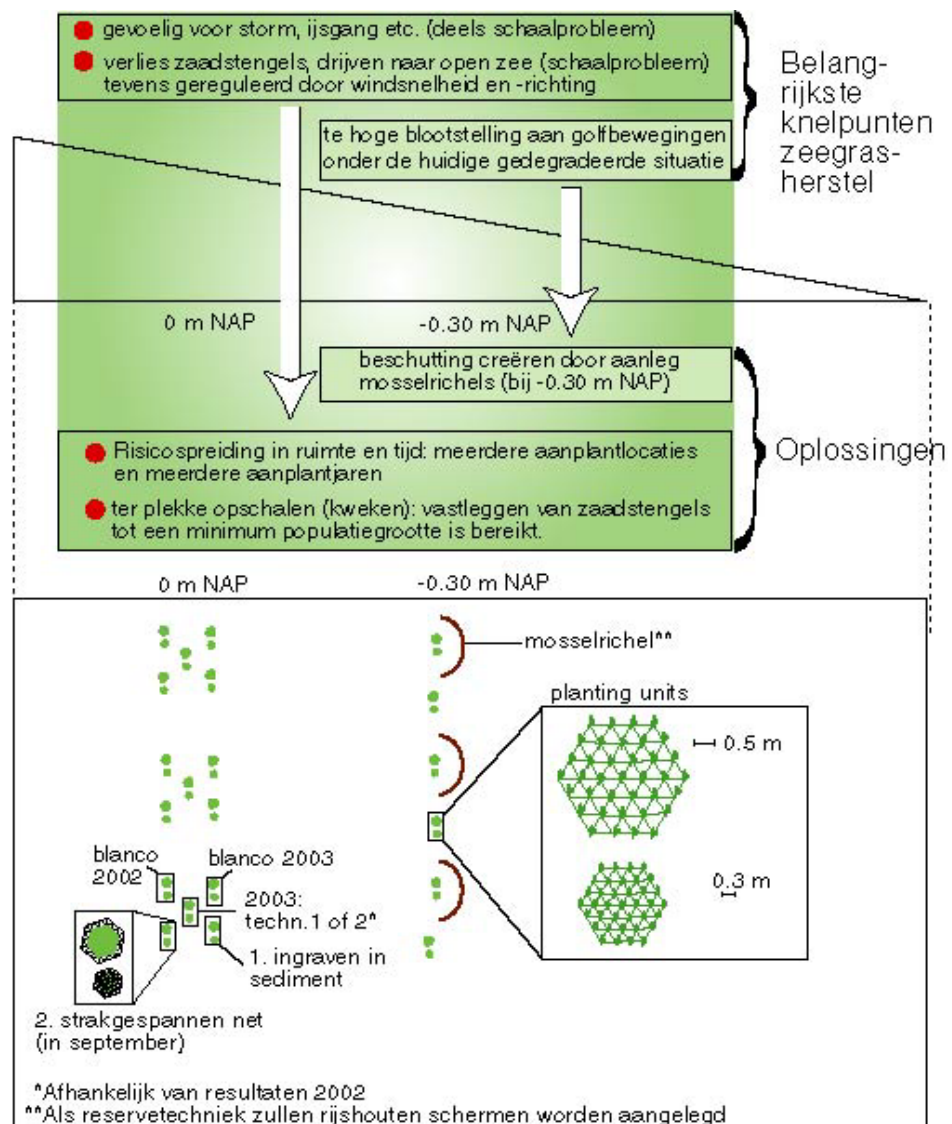
Twee stabilisatietechnieken zullen worden aangelegd (figuur 9): mosselrichels, d.i. mosselbroed op een kokkelschelpenverhoging eventueel beschermd met kippengaas vastgezet met ankers (risicovol, maar natuurlijke, duurzame en elegante oplossing zie ook visie weergegeven in figuur 2 en 8, en intermezzo 3); en als reservetechniek, indien de mosselrichels niet voldoen, rijshouten schermen (weinig risico, gemakkelijk te reguleren, betaalbaar). Een uitvoerige vergelijking van diverse stabilisatiemethoden is te vinden in van Katwijk (1999). Tegelijkertijd zal aanplant worden gedaan in de luwte van een natuurlijke mosselbank, in de Mokbaai (Texel), als controle en als test.

Ad 5. Risicospreiding in de ruimte en tijd: twee aanplantlocaties worden geselecteerd. De overlevingskansen van een aanplant kunnen van jaar tot jaar verschillen als gevolg van klimatologische en andere toevallige variaties (zie paragraaf 5.10). Daarom zal ook in het tweede jaar een kleine aanplant worden gedaan. Dit biedt tevens de mogelijkheid om onzekerheidsmarges, veerkracht en haalbaarheid beter in te schatten. Er zijn aanwijzingen dat mei de beste planttijd is (van Katwijk 1992). De aanplant zal echter worden uitgesteld tot begin juni, wanneer de rotganzen vertrekken (pers. comm. M. Otter).

Ad 6. Gebruikmaking van genetisch zo divers mogelijk aanplantmateriaal (Williams & Davis 1996, Williams 2001), door bemonstering m.b.v. inschatting door experts. De populatie in de Eemsmonding zal als donor gebruikt worden (zie 6.2).

Prof. dr. Jeanine Olsen en medewerkers (Rijksuniversiteit Groningen) hebben inmiddels onderzoek gedaan naar de genetische eigenschappen van de Groot zeegraspopulatie op de Eems: het blijkt dat er een zeer lichte mate van inteelt aanwezig is, niet meer dan bijvoorbeeld op Sylt, voorts is het een 'panmictische' populatie, dit betekent dat genetische eigenschappen over de gehele populatie uitwisselen¹⁴. Ze raadt ons aan op een aantal plekken circa 2 km uit elkaar planten te verzamelen, op iedere plek kan volstaan worden met een afstand van 2 m tussen iedere verzamelde plant (als het alleen uit zaden opgekomen planten zijn, vaak op plaatsen waar de planten met lage bedekking voorkomen, kan ook een kleinere afstand worden gekozen)

¹⁴ Panmixia: random mating in een volledig kruisbevruchtende populatie (uit: Booy 1998)



Schema van de aanplant op het Balgzand. Deze opzet zal op twee plaatsen worden uitgevoerd, B1 en B2, zie figuur 7. In 2002 worden bij 0 NAP twee zaadstengelbehoudstechnieken getest. Eind 2002 worden de mosselrichels aangelegd bij -0.30 m NAP, waarachter in 2003 zeegras wordt aangeplant.

Figuur 9. Schema van de aanplant in 2003. Ieder groen bolletje vertegenwoordigt een aanplant van elk 37 planten Bij 0 m NAP worden in 2002 twee zaadstengelbehoudstechnieken getest. N.B. Achter de stabilisatietechnieken wordt eerst stabilisatie afgewacht alvorens zeegras aan te planten.

In figuur 9 wordt het aanplantschema weergegeven van transplantaties in Balgzand. Daarnaast zal een aanplant worden gedaan achter een natuurlijke mosselbank (bv. Mokbaai), welke extensief gemonitord zal worden. Voorts zullen op Balgzand aanwezige planten uit eerdere experimenten worden gemonitord. Aanvullende gegevens die nodig zijn voor de door RIKZ te vervaardigen GIS zeegraskansenkaart zullen worden verstrekt door KUN (zeegrasvoorwaarden) en Alterra (stikstofbelasting uit mineralisatie).

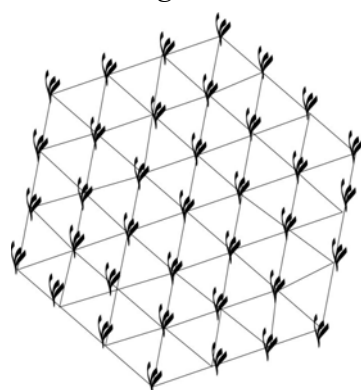
9.3 Waarom worden stekken gebruikt en geen zaden

Op zich maakt het niet veel uit of zaden of stekken gebruikt worden (Fonseca et al. 1998). Met het gebruik van zaden wordt echter één onzekere factor extra toegevoegd, waardoor de resultaten moeilijker te inter-

preteren zijn. De extra onzekerheid ontstaat doordat kieming kan variëren tussen 0 en 100%, afhankelijk van de gebruikte zaden, (zeer) lokale omstandigheden en toeval (unpubl. results, de Vries & Kennis 1992, Churchill 1983, Harrison 1991, Granger et al. 2000, van Katwijk & Wijgergangs 2000). Het gebruik van zaden blijft echter een goed alternatief. Bij een grootschalige aanplant zou het zelfs de voorkeur hebben, mits resultateninterpretatie van minder belang is (als je bijvoorbeeld niet van tevoren wilt weten uit hoeveel planten de aanplant bestaat). Als zaadhoudende stengels gebruikt worden is het minder arbeidsintensief, en dus goedkoper. Ook zou het kunnen dat er minder donorindividueen nodig zijn, omdat één plant tientallen zaden kan produceren. Dit effect zou evenwel verloren kunnen gaan als kieming en zaailingoverleving niet hoog zijn. N.B. In de Waddenzee wordt niet gekozen voor een grootschalige aanplant.

9.4 Aanplant

9.4.1 Inleiding



Figuur 10. Transplantatie-eenheid (PU); onderlinge afstand is 50 of 30 cm.

Een transplantatie-eenheid (planting unit, PU) bestaat uit 37 planten, geplaatst in een zeshoek (figuur 10). Binnen de zeshoek hebben de planten een onderlinge afstand van 50 cm (lage dichtheid, grote PU) of 30 cm (hoge dichtheid, kleine PU). Tot de keuze van twee aanplantdichtheden is gekomen na overleg met D.C.R. Hermus, J. Ouborg, J. Olsen, D. de Jong. De aanplantdichtheid kan namelijk op verschillende wijzen invloed uitoefenen op de ontwikkeling van de aanplant. Als de planten dicht bij elkaar staan, kunnen ze elkaar overschaduwen als ze groter worden, maar ze kunnen tegelijkertijd elkaar beter beschutten tegen golfslag, dan wanneer de planten verder uit elkaar staan. Ook is het mogelijk dat kruisbestuiving tussen de planten (dit is gunstig, Reusch 2001) frequenter zal optreden als de planten dichterbij elkaar staan.

Tot de keuze van de onderlinge afstand is gekomen na overleg met D.C.R. Hermus en D.J. de Jong. Hierbij is m.n. de grootte van de planten in overweging genomen: als de planten op 50 cm uit elkaar worden gelegd zullen ze tot ver in het groeiseizoen als individuele planten herkend kunnen worden, omdat de planten alleen bij een zeer uitbundige ontwikkeling breder dan 50 cm worden. Ze zullen op deze manier ook geen ruimtelijke bovengrondse hinder van elkaar ondervinden. De kleinere aanplantdichtheid met een onderlinge afstand van 30 cm is gekozen om te zien of de mogelijke extra beschutting en verhoogde kans op kruisbestuiving voordelen oplevert ten opzichte van de ruimere aanplant van 50 cm, of dat de ruimtelijke hinder te sterk is, zodat de planten juist nadelen ondervinden van de onderlinge afstand van 30 cm.

Iedere PU wordt in drievoud aangelegd.

De planten zullen verspreid worden verzameld, op drie plaatsen met een onderlinge afstand van 1-2 km, en met een onderlinge afstand tussen de planten van minimaal 2 meter (pers. comm. J.L. Olsen). Na verzamelen zullen de planten koel worden vervoerd, en één of twee dagen later worden uitgeplant op de plaats van bestemming. Op de donorplek zullen ook een aantal PU's (maximaal 6) worden geplaatst om het effect van de transplantatie zelf te kunnen testen.

9.4.2 Aanplant 2002 (*Product c*)

Locatie	Aantal dieptes (cm NAP)	Aantal constructies zaadstengelbehoud (2 types, en 1 blanco)	Aantal replica's	Dichtheid*	Totaal aantal aanplanten
B1	1 (0 ¹⁵)	3	3	2	18
B2	1 (0)	3	3	2	18
Totaal					36

*Bij tijdgebrek zal alleen de lage dichtheid worden gemonitord

9.4.3 Aanplant 2003 (*Product d*)

Locatie	Diepte (cm NAP)	Stabilisatie (n=niet, s= wel stabilisatie-techniek)	Zaadstengel-behoud-constructie (n=niet, z=wel)	Aantal replica's	Dichtheid*	Totaal aantal aanplanten
M	0	n	n	3	2	6
	-30 ¹⁶	n	n	3	2	6
B1	0	n	n,z	3	2	12
	-30	n,s	z	3	2	12
B2	0	n	n,z	3	2	12
	-30	n,s	z	3	2	12
Totaal						60

*Bij tijdgebrek zal alleen de lage dichtheid worden gemonitord

9.4.4 Aanplant 2004 (*Product e*)

Afhankelijk van resultaten in 2003 zal bijgeplant worden, max. 24 aanplanten, 12 bij NAP en 12 bij -0.30 m NAP. Ook hier zal alleen de lage dichtheid worden gemonitord als er te weinig tijd is.

9.5 Stabilisatietechnieken (*Product s en t*)

In het eerste jaar zullen stabilisatietechnieken worden aangelegd, 6 mosselrichels en 6 rijshouten schermen. De schermen worden aangelegd als reservestabilisatietechniek; indien het niet lukt om de mosselrichels te laten functioneren als stabilisatietechniek, kunnen de schermen worden gebruikt. De rijshoutenschermen zullen na afloop van het experiment (in

¹⁵ Tussen 0 of -0.10 m NAP.

¹⁶ Tussen -0.20 en -0.40 m NAP (deze zone is niet breed, zie figuur 7) In dit plan van aanpak wordt dit aangeduid met -0.30 m NAP.

2005) worden verwijderd indien gewenst door de beheerder. Er wordt vanuit gegaan dat de aangelegde mosselrichels niet volledig zullen standhouden (afhankelijk van weersomstandigheden of omstandigheden van biologische aard, bijvoorbeeld vraat van vogels en/of zeesterren); er is daarom gepland dat maximaal 3 mosselruggen opnieuw moeten worden aangelegd.

Iedere constructie zal de vorm krijgen van een halve cirkel, of boog met een lengte van ongeveer 30 m en ongeveer 30 cm hoog. De oriëntatie van de halve bogen zal 320° - 330° zijn, dit is de richting van Den Helder haven, waarvandaan golven uit het Marsdiep ombuigen richting Balgzand (expert judgment N. Dankers & D.J. de Jong). De mosselrichels zullen ongeveer 2.5 m breed worden aangelegd, en krijgen een ondergrond van dode, schone schelpen of kleischelpen. Daar bovenop wordt mosselzaad > 0.5 cm aangebracht. Ter plekke zal beoordeeld worden of het noodzakelijk wordt geacht de mosselruggen te beschermen met kuikengaas. De rijshouten schermen zullen bestaan uit sparrenhouten tenen van 1.5 m hoog en 1 tot 4 cm in doorsnede, dat een aantal decimeters in het sediment wordt geplaatst (zodat ongeveer 1 meter boven het sediment uitsteekt. Deze hoogte is niet nodig, maar kortere tenen zijn niet leverbaar).

N.B. Zeegras wordt pas achter de mosselbanken aangelegd als deze gebiedjes enigszins gestabiliseerd zijn, c.q. ofwel in mei 2003, ofwel in mei 2004. Indien stabilisatie niet optreedt, wordt de reserve stabilisatie-techniek (rijshouten scherm) gebruikt als bescherming voor de aanplant (zie beslissingsmodel in het contract).

9.6 Zaadstengelbehoudtechnieken (Product u en v)

Aanleg zaadstengelbehoudconstructies. Techniekontwikkeling vindt plaats gedurende het eerste jaar (2002), waarbij twee methodes getest worden. In het tweede jaar (2003) zal de meest geschikte techniek worden gehanteerd. De volgende twee methodes zullen worden getest in 2002:

1. Netten met een maaswijdte van circa 7x7 cm (gestrekte maas 13 cm) zullen strakgespannen over de aanplant gelegd worden, zodat het risico van wegspoeling van de zaadstengels vrijwel nihil is, maar de locale verspreiding ook zeer beperkt zal zijn (zaden worden hooguit enkele meters, meestal slechts centimeters, over het sediment verplaatst door waterbewegingen (Orth et al. 1994). Door het net strak te spannen, en een net met een hoog soortelijk gewicht te gebruiken zodat het plat op de bodem blijft liggen, is het gevaar voor vogels geminimaliseerd. Ook wordt minder kracht uitgeoefend door de golven op strakgespannen net in vergelijking met een losgespannen net. Een grotere maaswijdte was geen alternatief: dit bleek alleen verkrijgbaar te zijn met 12 mm dik garen. Dit beschadigt de planten.
2. De zeegrasplanten zullen handmatig ingegraven worden in het sediment, zodat ze op een diepte van circa 2 cm komen te liggen. Als het sediment te los wordt van deze activiteit zal een klein laagje sediment extra over de aanplant worden gelegd. Dit extra laagje zal weliswaar langzaam eroderen, maar dat is waarschijnlijk geen probleem: het gaat erom de zaaddragende stengels gedurende een korte tijd vast te houden (tot de zaden gelost zijn).

Deze methode is het meest natuurvriendelijk: geen vreemde materialen worden ingebracht en er zijn geen gevaren voor vogels. Een kleine test van de nettenconstructies zal in de loop van de zomer worden uitgevoerd.

9.7 Monitoren (Product p, q en r)

De resultaten van de aanplant worden uitvoerig gepresenteerd in resultatenrapportages, o.a. t.b.v. voorwaarden NB-wetvergunning.

9.7.1 Monitoren aanplant Balgzand

N.B. Aanplanten van één van beide dichtheden (50 cm tussenruimte) zullen worden gemonitord. Van de aanplanten van de andere dichtheid (30 cm tussenruimte) zal een globale impressie worden genoteerd.

Aantal beoogde monitoring events per maand: Mei: 2x, juni-okt 1x, nov-mrt 0.5x, april 1x; in Mokbaai 2x per jaar. Aanplant 1998-1999 monitoren (indien nog aanwezig) 2x per jaar. Er zal tenminste 8 maal per jaar worden gemonitord.

Monitoringperiode: mei 2002 – juni 2005

Werkzaamheden bij iedere monitoring

Tellen aantal planten, waarbij in de zomer het bloeistadium zal worden genoteerd, kwalitatieve schatting macroalgen, grazers, wadpieren en krabben. Eén à twee maal per jaar zal de gewone monitoring vervangen worden door bodemwater- en bodembemonstering, alsmede een kwantitatieve schatting van de hoeveelheid krabben (bioturbatie) bij hoogwater, en wadpieren (bioturbatie), *Nereis* (zaden eten) en grazers (wadslakjes, alikruiken). De hoeveelheid krabben per m² wordt bij hoogwater geschat met behulp van een kor ('beam trawl'). *Nereis*, alikruiken en wadpieren worden geteld in cores van 10 cm doorsnede, 20-30 cm diep gestoken. Wadslakjes worden geteld in cores van 2-3 cm. Wadpieren worden eventueel bovengronds geschat in 1 m²-frames.

Metingen aan het sediment: organisch stofgehalte en korrelgroottes. Metingen aan bodemwater: NH₄, PO₄ en saliniteit conform eerdere metingen (van Katwijk et al. 2000b). In april zal het aantal fouragerende rotganzen worden geschat. Bij zeer uitbundige ontwikkeling van de planten kunnen tijdsproblemen ontstaan bij het tellen. Om dit op te lossen kan worden besloten om met een lagere frequentie te monitoren of om bedekking te schatten. Bij een langdurig verhoogde waterstand kan een monitoring event uitvallen.

9.7.2 Monitoren Mokbaai

Tellen aantal planten, twee maal per jaar.

9.7.3 Monitoren oude "aanplant" 1999

Jaarlijks in kaart brengen

9.7.4 Monitoren donorpopulatie Hond/Paap

In 2002 en 2003 eenmaal monitoren om te kunnen vergelijken met de ontwikkeling van de transplantatielocaties.

9.7.5 Monitoren stabilisatietechnieken

Frequentie: in de periode september 2002 – april 2003 eens per 2 à 3 maanden. Meten: sedimentophoging m.b.v. verzwaarde linten. Schatten:

toestand van de constructies inclusief de mosselrichels (aanslaan / instandblijven), eventueel herstellen. Na april 2002: 2 à 3 maal per jaar meten van sedimentophoging. Indien de constructies in 2003 opnieuw moeten worden aangelegd, zal eveneens aansluitend gemonitord worden met deze frequentie.

Literatuur

- Adams JB, Bate GC (1994) The tolerance to desiccation of the submerged macrophytes *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande and *Zostera capensis* Setchell. J Exp Mar Biol Ecol 183:53-62
- Arai M, Pak JY, Nomura K, Nitta T (1991) Seawater-resistant, non-spherical protoplasts from seagrass leaves. Physiol Plant 83:551-559
- Asmus H, Asmus R (1998) The role of macrobenthic communities for sediment-water material exchange in the Sylt-Rømø tidal basin. Senckenb Marit 29:111-119
- Balestri E, Piazzzi L, Cinelli F (1998) Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. J Exp Mar Biol Ecol 228:209-225
- Bellemakers M.J.S, de Jong DJ (1995) De verspreidingsdynamiek van zeegras in de Oosterschelde: een beschrijving van de effecten van de Deltawerken. NIOO/CEMO Yerseke/ RWS RIKZ, Manuscript Middelburg
- Bester K (2000) Effects of pesticides on seagrass beds. Helgol Mar Res 54:95-98
- Bintz JC, Nixon SW (2001) Responses of eelgrass *Zostera marina* seedlings to reduced light. Mar Ecol Prog Ser 223:133-141
- Bohrer T, Wright A, Hauxwell J, Valiela I (1995) Effect of epiphyte biomass on growth rate of *Zostera marina* in estuaries subject to different nutrient loading. Biol Bull 189:260
- Boley KE (1988) Morphodynamische Analyse der Wattsüdseite Hallig Hooge. Geographisches Institut der Justus Liebig Universität Gießen, Giessen
- Booy G (1998) Het belang van genetische diversiteit voor de overleving van populaties. Centrum voor Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek (CPRO-DLO), Wageningen
- Booy G, Hendriks RJJ, Smulders MJM, Van Groenendaal JM, Vosman B (2000) Genetic diversity and the survival of populations. Plant Biol 2:379-395
- Borum J, Murray L, Kemp WM (1989) Aspects of nitrogen acquisition and conservation in eelgrass plants. Aquat Bot 35:289-300
- Boynton WR, Murray L, Hagy JD, Stokes C, Kemp WM (1996) A comparative analysis of eutrophication patterns in a temperate coastal lagoon. Estuaries 19:408-421
- Brun FG, Hernandez I, Vergara JJ, Peralta G, Perez-Llorens JL (2002) Assessing the toxicity of ammonium pulses to the survival and growth of *Zostera noltii*. Mar Ecol Prog Ser 225:177-187
- Burkholder JM, Mason KM, Glasgow HB (1992) Water-column nitrate enrichment promotes decline of eelgrass *Zostera marina*: Evidence from seasonal mesocosm experiments. Mar Ecol Prog Ser 81:163-178

- Burkholder JM, Glasgow HB, Jr., Cooke JE (1994) Comparative effects of water-column nitrate enrichment on eelgrass *Zostera marina*, shoalgrass *Halodule wrightii*, and widgeongrass *Ruppia maritima*. Mar Ecol Prog Ser 105:121-138
- Christensen PB, McGlathery KJ (1995) Transplantation of eelgrass. National Environmental Research Institute, Silkeborg
- Churchill AC (1983) Field studies on seed germination and seedling development in *Zostera marina* L. Aquat Bot 16:21-29
- Clapham A.R., Tutin TG, Warburg EF (1962) Flora of the british Isles. Cambridge University Press, Cambridge
- Dankers N, Koelemaij K (1989) Variations in the mussel population of the Dutch Wadden Sea in relation to monitoring of other ecological parameters. Helgol Mar Res 43:529-535
- Dankers N, Zuidema DR (1995) The role of the mussel (*Mytilus edulis* L) and mussel culture in the Dutch Wadden Sea. Estuaries 18:71-80
- Dankers N (1998) Four years of Dutch shellfish fisheries policy - and now the future. Wadden Sea Newsl 1998-1:5-7
- Davis RC, Short FT (1997) Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: The horizontal rhizome method. Aquat Bot 59:1-15
- Davis RC, Short FT, Burdick DM (1998) Quantifying the effects of green crab damage to eelgrass transplants. Restor Ecol 6:297-302
- de Jong DJ (2000) Werkdocument zeegraskarteringen Waddenzee. RWS/RIKZ, Middelburg
- de Jong F, Bakker J, van Berkel C, Dahl K, Dankers N, Gätje C, Marenčić H, Potel P (1999) Wadden Sea quality status report. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven
- de Jonge J, van Meerendonk JH (1990) Wadden Aktie Plan. Inventarisatie Emissies. Nota GWWS 90.060, RIKZ, Haren
- de Jonge VN, Postma H (1974) Phosphorus compounds in the Dutch Wadden Sea. Neth J Sea Res 8:139-153
- de Jonge VN (1990a) Schade door kokkelvisserij en mosselzaadvisserij aan restanten van zeegrasvoorkomens in Waddenzee en Eems estuarium. Notitie GWWS-90.12062 Rijkwaterstaat Tidal Waters Division, The Netherlands
- de Jonge VN (1990b) Response of the Dutch Wadden Sea ecosystem to phosphorus discharges from the River Rhine. Hydrobiologia 195:49-62
- de Jonge VN, de Jong DJ (1992) Role of tide, light and fisheries in the decline of *Zostera marina* L. in the Dutch Wadden Sea. Neth Inst Sea Res Publ Ser 20:161-176
- de Jonge VN, Essink K, Boddeke R (1993) The Dutch Wadden Sea: A changed ecosystem. Hydrobiologia 265:45-71

- de Jonge VN, Ruiter JF (1996) How subtidal were the 'subtidal beds' of *Zostera marina* L. before the occurrence of the wasting disease in the early 1930's? *Neth J Aquat Ecol* 30:99-106
- de Jonge VN, de Jong DJ, van den Bergs J (1996) Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina*) in the Dutch Wadden Sea; review of research and suggestions for management measures. *J Coast Conserv* 2:149-158
- de Jonge VN (1997) High remaining productivity in the Dutch western Wadden Sea despite decreasing nutrient inputs from riverine sources. *Mar Pollut Bull* 34:427-436
- de Jonge VN, van den Bergs J, de Jong DJ (1997) Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief. RIKZ, Haren, The Netherlands
- de Jonge VN, de Jong DJ (1999) Zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Werkdocument RIKZ/OS-99.808x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren
- de Jonge VN, de Jong DJ, van Katwijk MM (2000) Policy plans and management measures to restore eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea. *Helgol Mar Res* 54:151-158
- de Vries R, Kennis P (1992) De overwintering van *Zostera marina* L. in Terschelling en Sylt en kiemingsexperimenten met *Zostera marina* L. populaties. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- den Hartog C (1972) The identity of *Zostera marina* var. *angustifolia* Hornemann (Potamogetonaceae). *Blumea* 20:150
- den Hartog C, Polderman PJG (1975) Changes in the seagrass populations of the Dutch Waddenzee. *Aquat Bot* 1:141-147
- den Hartog C (1994) Suffocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquat Bot* 47:21-28
- den Hartog C (1996) Sudden declines of seagrass beds: "wasting disease" and other disasters. In: Kuo J, Phillips RC, Walker DI, Kirkman H (eds) *Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop*. Rottneest Island, Western Australia, 25-29 January 1996. University of Western Australia, Nedlands, p 307-314
- Dittmann S, Villbrandt M (1999) Size frequency, distribution and colour variation of *Carcinus maenas* in the Spiekeroog back barrier system. In: Dittmann S (ed) *The Wadden Sea ecosystem: stability properties and mechanisms*. Springer-Verlag, Berlin, p 163-173
- Essink K (1992) Restrictions for cockle and mussel fishery in the Dutch Wadden Sea. *Wadden Sea Newsl* 1992-2:18-19
- Fonseca MS, Kenworthy WT, Courtney FX, Hall MO (1994) Seagrass planting in the southeastern United States: Methods for accelerating habitat development. *Restor Ecol* 2:198-212
- Fonseca MS, Bell SS (1998) Influence of physical setting on seagrass landscapes near Beaufort, North Carolina, USA. *Mar Ecol Prog Ser* 171:109-121

- Fonseca MS, Kenworthy WJ, Thayer GW (1998) Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring MD
- Fukuhara T, Pak UY, Ohwaki Y, Tsujimura H, Nitta T (1996) Tissue-specific expression of the gene for a putative plasma membrane H⁺-ATPase in a seagrass. *Plant Physiol* 110:35-42
- Ganter B (2000) Seagrass (*Zostera* spp.) as food for brent geese (*Branta bernicla*): An overview. *Helgol Mar Res* 54:63-70
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990a) Temperature, salinity, insolation and wasting disease of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea in the 1930's. *Neth J Sea Res* 25:395-404
- Giesen WBJT, van Katwijk MM, den Hartog C (1990b) Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquat Bot* 37:71-85
- Granger SL, Traber MS, Nixon SW (2000) Propagation of *Zostera marina* L. from seed. In: Sheppard CRC (ed) *Seas at the millennium: an environmental evaluation*. Elsevier Science, Amsterdam, p 4-5
- Harlin MM, Thorne-Miller B (1981) Nutrient enrichment of seagrass beds in a Rhode Island coastal lagoon. *Mar Biol* 65:221-229
- Harlin MM (1995) Changes in major plant groups following nutrient enrichment. In: McComb AJ (ed) *Eutrophic Shallow Estuaries and Lagoons*. CRC Press, Boca Raton, p 173-188
- Harmsen GW (1936) Systematische Beobachtungen der Nordwest-Europäischen Seegrassformen. *Ned Kruidk Arch* 46:852-877
- Harrison PG (1991) Mechanisms of seed dormancy in an annual population of *Zostera marina* (eelgrass) from The Netherlands. *Can J Bot* 69:1972-1976
- Haynes D, Muller J, Carter S (2000) Pesticide and herbicide residues in sediments and seagrasses from the Great Barrier Reef World Heritage area and Queensland coast. *Mar Pollut Bull* 41:279-287
- Helder W (1974) The cycle of dissolved inorganic nitrogen compounds in the Dutch Wadden Sea. *Neth J Sea Res* 8:154-173
- Hemminga MA, Harrison PG, van Lent F (1991) The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadows. *Mar Ecol Prog Ser* 71:85-96
- Hermus DCR (1995) Herintroductie van zeegrass in de Waddenzee. Het verloop van de beplantingen in 1992-1994 & zaadexperimenten. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Hongguang M, Zhiying Y, Cadee GC (1995) Macrofauna distribution and bioturbation on tidal confluences of the Dutch Wadden Sea. *Neth J Aquat Ecol* 29:167-176
- Hootsmans MJM, Vermaat JE, Van Vierssen W (1987) Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from the Netherlands: *Zostera marina* L and *Z. noltii* Horne-mann. *Aquat Bot* 28:275-285

- Houdijk ALFM, Roelofs JGM (1991) Deposition of acidifying and eutrophicating substances in Dutch forests. *Acta Bot Neerl* 40:245-255
- Höpner T (1991) The ecological state of the Wadden Sea. An assessment. *Int Rev ges Hydrobiol* 76:317-326
- Hughes RG, Lloyd D, Ball L, Emson D (2000) The effects of the polychaete *Nereis diversicolor* on the distribution and transplanting success of *Zostera noltii*. *Helgol Mar Res* 54:129-136
- Isermann K (1990) Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. *Fert Res* 26:253-270
- Jacobs RPWM, den Hartog C, Braster BF, Carriere FC (1981) Grazing of the seagrass *Zostera noltii* by birds at Terschelling (Dutch Wadden Sea). *Aquat Bot* 10:241-259
- Jagels R (1983) Further evidence for osmoregulation in epidermal leaf cells of seagrasses. *Amer J Bot* 70:327-333
- Janssen A (1996) Effect van bodemtype en populatie van herkomst op de ontwikkeling van Groot zeegras (*Zostera marina* L.) in twee mesocosmos-experimenten. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Kamermans P, Hemminga MA, de Jong DJ (1999) Significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina*) population (Lake Grevelingen, the Netherlands). *Mar Biol* 133:527-539
- Kastler T, Michaelis H (1997) Der Rückgang der Seegrasbestände im niedersächsischen Wattenmeer. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste -, Norderney, Germany
- Kawasaki Y, Litoka T, Goto H, Terawaki T, Watanabe Y, Kikuti K (1988) Study on the technique for *Zostera* bed creation. [Abstract] *Denryoku Chuo Kenkyusho Hokoku* u14:1-231
- Kay QON (1998) A review of the existing state of knowledge of the ecology and distribution of seagrass beds around the coast of Wales. Science report 296, Countryside Council for Wales, Bangor, Wales
- Kemp WM, Boynton WR, Twilley RR, Stevenson JC, Means JC (1983) The decline of submerged vascular plants in upper Chesapeake Bay: summary of results concerning possible causes. *Mar Tech Soc J* 17:78-89
- Kenworthy WJ, Fonseca MS (1992) The use of fertilizer to enhance growth of transplanted seagrasses *Zostera marina* L. and *Halodule wrightii* Aschers. *J Exp Mar Biol Ecol* 163:141-161
- Kenworthy WJ, Fonseca MS, Whitfield PE, Hammerstrom K, Schwarzschild AC (2000) A comparison of two methods for enhancing the recovery of seagrasses into propellor scars: mechanical injection of a nutrient and growth hormone solution vs. defecation by roosting seabirds. Center for Coastal Fisheries and Habitat Research, Beaufort, NC

- Leuschner C, Landwehr S, Mehlig U (1998) Limitation of carbon assimilation of intertidal *Zostera noltii* and *Z. marina* by desiccation at low tide. *Aquat Bot* 62:171-176
- Lord D, Paling E, Gordon D (1999) Review of Australian rehabilitation and restoration programs. In: Butler AJ, Jernakoff P (eds) *Seagrass in Australia. Strategic review and development of an R&D plan*. SCIRO Publishing, Collingwood, p 65-115
- Lozán JL, Breckling P, Fonds M, Krog C, van der Veer HW, Witte JJ (1994) Über die Bedeutung des Wattenmeeres für die Fischfauna und deren regionale Veränderung. In: Lozán JL, Rachor E, Reise K, von Westernhagen H, Lenz W (eds) *Warnsignale aus dem Wattenmeer*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, p 226-234
- Luther H (1951) Verbreitung und Oekologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. *Acta Bot Fenn* 50:1-72
- Mansfeldt T, Blume HP (1997) Precipitation chemistry and atmospheric element-deposition in an agroecosystem at the North-Sea Coast of Schleswig-Holstein. *Z Pflanzenernähr Bodenk* 160:437-445
- Martinet JF (1782) Verhandelinge over het wier der Zuiderzee. *Verhandelingen Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen* 20:54-129+plates I-VI
- Meinesz A, Molenaar H, Bellone E, Loquès F (1991) Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica* (L.) Delile I - Effects of rhizome length and time of year on development in orthotropic transplants. *Mar Ecol*
- Meinesz A, Molenaar H, Bellone E, Loquès F (1992) Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*: I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotropic shoots. *Mar Ecol* 13:163-174
- Meinesz A, Molenaar H, Caye G (1993) Transplantations de phanerogames marines en mediterraneë. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 11:183-190
- Molenaar H, Meinesz A, Caye G (1993) Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and development in different morphological types of transplanted cuttings. *Bot Mar* 36:481-488
- Moore KA, Orth RJ, Nowak JF (1993) Environmental regulation of seed germination in *Zostera marina* L. (eelgrass) in Chesapeake Bay: effects of light, oxygen and sediment burial. *Aquat Bot* 45:79-91
- Morelissen B (2002) De ontwikkelingen van zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Middelburg, Rijksinstituut voor Kust en Zee
- Murray L, Dennison WC, Kemp WM (1992) Nitrogen versus phosphorus limitation for growth of an estuarine population of eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquat Bot* 44:83-100
- Nacken M, Reise K (2000) Effects of herbivorous birds on intertidal seagrass beds in the northern Wadden Sea. *Helgol Mar Res* 54:87-94

- Neckles HA, Wetzel RL, Orth RJ (1993) Relative effects of nutrient enrichment and grazing on epiphyte-macrophyte (*Zostera marina* L.) dynamics. *Oecologia* 93:285-295
- Nehls G, Hertzler I, Scheiffarth G (1997) Stable mussel *Mytilus edulis* beds in de Wadden Sea – They're just for the birds. *Helgol Mar Res* 51:361-372
- Nelson TA, Waaland JR (1997) Seasonality of eelgrass, epiphyte, and grazer biomass and productivity in subtidal eelgrass meadows subjected to moderate tidal amplitude. *Aquat Bot* 56:51-74
- Nienburg W (1927) Zur Ökologie der Flora de Wattenmeeres. I. Teil. Der Königshafen bei List auf Sylt. *Wiss Meeresunters* 20:148-196
- Nienhuis PH, de Bree BHH, Herman PMJ, Holland AMB, Verschuure JM, Wessel EGJ (1996) Twenty-five years of changes in the distribution and biomass of eelgrass, *Zostera marina*, in Grevelingen Lagoon, The Netherlands. *Neth J Aquat Ecol* 30:107-117
- Ogata E, Matsui T (1965) Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH, with attention to their growth habitats. *Bot Mar* 8:199-217
- Orth RJ (1977) Effect of nutrient enrichment on growth of the eelgrass *Zostera marina* in the Chesapeake Bay, Virginia, U.S.A. *Mar Biol* 44:187-194
- Orth RJ, Luckenbach M, Moore KA (1994) Seed dispersal in a marine macrophyte: Implications for colonization and restoration. *Ecol* 75:1927-1939
- Orth RJ, Harwell MC, Fishman JR (1999) A rapid and simple method for transplanting eelgrass using single, unanchored shoots. *Aquat Bot* 64:77-85
- Orth RJ, Harwell MC, Bailey EM, Bartholomew A, Jawad JT, Lombana AV, Moore KA, Rhode JM, Woods HE (2000) A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration. *Mar Ecol Prog Ser* 200:277-288
- Oudemans CAJA, Conrad JFW, Maats P, Bouricius LJ (1870) Verslag der Staatscommissie inzake de wiermaayerij. Verslag aan den Koning over de Openbare Werken in het Jaar 1869. Van Weelden en Mingelen, Den Haag, p 199-231
- Pak JY, Fukuhara T, Nitta T (1995) Discrete subcellular localization of membrane-bound ATPase activity in marine angiosperms and marine algae. *Planta* 196:15-22
- Paling EI, van Keulen M, Wheeler KD (1998) Seagrass rehabilitation in Owen Anchorage, Western Australia. Report no. MAFRA 98/4, Murdoch University, Murdoch
- Paling EI, van Keulen M, Wheeler KD (2000a) Seagrass rehabilitation on Success Bank, Western Australia (Project S2, 1995-2000). (Report No. MAFRA 00/006) Murdoch University, Murdoch
- Paling EI, van Keulen M, Wheeler K, Walker C (2000b) Effects of depth on manual transplantation of the seagrass *Amphibolis griffithii* (J. M.

- Black) den Hartog on Success Bank, Western Australia. *Pac Cons Biol* 5:314-320
- Pedersen MF, Borum J (1992) Nitrogen dynamics of eelgrass *Zostera marina* during a late summer period of high growth and low nutrient availability. *Mar Ecol Prog Ser* 80:65-73
- Pedersen MF (1995) Nitrogen limitation of photosynthesis and growth: Comparison across aquatic plant communities in a Danish estuary (Roskilde Fjord). *Ophelia* 41:261-272
- Philippart CJM (1994) Interactions between *Arenicola marina* and *Zostera noltii* on a tidal flat in the Wadden Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 111:251-257
- Philippart CJM (1995) Effects of shading on growth, biomass and population maintenance of the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem in the Dutch Wadden Sea. *J Exp Mar Biol Ecol* 188:199-213
- Philippart CJM, Cadee GC (2000) Was total primary production in the western Wadden Sea stimulated by nitrogen loading? *Helgol Mar Res* 54:55-62
- Piazzzi L, Balestri E, Magri M, Cinelli F (1998) Experimental transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a disturbed habitat in the Mediterranean Sea. *Bot Mar* 41:593-601
- Pinnerup SP (1980) Leaf production of *Zostera marina* L. at different salinities. *Ophelia Suppl.* 1:219-224
- Pokorný KS (1967) *Labyrinthula*. *J Protozool* 14:697-708
- Polderman PJG, den Hartog C (1975) De zeegrassen in de Waddenzee. *K Ned Natuurh Veren Wet Meded* 107:1-32
- Postma H (1954) Hydrography of the Dutch Wadden Sea. *Arch Néerl Zoologie* 10:405-511
- Ralph PJ, Burchett MD (1998) Photosynthetic response of *Halophila ovalis* to heavy metal stress. *Environ Pollut* 103:91-101
- Ranwell DS, Wyer DW, Boorman LA, Pizzey JM, Waters RJ (1974) *Zostera* transplants in Norfolk and Suffolk, Great Britain. *Aquaculture* 4:185-198
- Rasmussen E (1977) The wasting disease of eelgrass (*Zostera marina*) and its effect on environmental factors and fauna. In: McRoy CP, Helfferich C (eds) *Seagrass ecosystems. A scientific perspective*. M. Dekker Inc., New York, p 1-51
- Reigersman CJA, Houben GFH, Havinga B (1939) Rapport omtrent den invloed van de wierziekte op den achteruitgang van de wierbedrijven, met Bijlagen. Provinciale Waterstaat in Noord-Holland, Haarlem
- Reise K (1985) *Tidal Flat Ecology. An Experimental Approach to Species Interactions*. Ecological Studies 54, Springer-Verlag Berlin
- Reusch TBH, Stam WT, Olsen JL (2000) A microsatellite-based estimation of clonal diversity and population subdivision in *Zostera marina*, a marine flowering plant. *Molecular Ecology* 9:127-140

- Reusch TBH (2001) Fitness-consequences of geitonogamous selfing in a clonal marine angiosperm (*Zostera marina*). *Journal of Evolutionary Biology* 14:129-138
- Reusch TBH (2002) Microsatellites reveal high population connectivity in eelgrass (*Zostera marina*) in two contrasting coastal areas. *Limnol Oceanogr* 47:78-85
- Rijnsdorp AD, van Leeuwen PI, Daan N, Heessen HJL (1996) Changes in abundance of demersal fish species in the North Sea between 1906-1909 and 1990-1995. *ICES J Mar Sci* 53:1054-1062
- Roberts MH, Orth RJ, Moore KA (1984) Growth of *Zostera marina* L. seedlings under laboratory conditions of nutrient enrichment. *Aquat Bot* 20:321-328
- Sanchiz C, Garcia-Carrascosa AM, Pastor A (2000) Heavy metal contents in soft-bottom marine macrophytes and sediments along the Mediterranean coast of Spain. *Mar Ecol* 21:1-16
- Scarlett A, Donkin P, Fileman TW, Evans SV, Donkin ME (1999) Risk posed by the antifouling agent Irgarol 1051 to the seagrass, *Zostera marina*. *Aquatic Toxicology Amsterdam* 45:159-170
- Schanz A, Polte P, Asmus H, Asmus R (2000) Currents and turbulence as a top-down regulator in intertidal seagrass communities. *Biol Mar Medit* 7:278-281
- Schellekens AWHJ (1975) Zeegrasonderzoek Terschelling. Report 17, Lab of Aquat. Ecol., Catholic University Nijmegen
- Schlünzen KH (1994) Atmosphärische Einträge von Nähr- und Schadstoffen. In: Lozán JL, Rachor E, Reise K, von Westernhagen H, Lenz W (eds) Warnsignale aus dem Wattenmeer. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, p 45-48
- Schwarzschild AC, Macintyre WG, Moore KA, Libelo EL (1994) *Zostera marina* L. growth response to atrazine in root-rhizome and whole plant exposure experiments. *J Exp Mar Biol Ecol* 183:77-89
- Sheridan P, McMahan G, Hammerstrom K, Pulich WJ (1998) Factors affecting restoration of *Halodule wrightii* to Galveston Bay, Texas. *Restor Ecol* 6:144-158
- Short FT (1983) The seagrass *Zostera marina* L.: plant morphology and bed structures in relation to sediment ammonium in Izembek lagoon, Alaska. *Aquat Bot* 16:149-161
- Short FT (1987) Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquat Bot* 27:41-57
- Short FT, Burdick DM, Kaldy JE (1995) Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*. *Limnol Oceanogr* 40:740-749
- Short FT, Wyllie-Echeverria S (1996) Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environ Conserv* 23:17-27
- Spaans B, Postma P (2001) Inland pastures are an appropriate alternative for salt-marshes as a feeding area for spring-fattening Dark-bellied Brent Geese *Branta bernicla*. *Ardea* 89:427-440

- Taylor DI, Nixon SW, Granger SL, Buckley BA, McMahon JP, Lin HJ (1995) Responses of coastal lagoon plant communities to different forms of nutrient enrichment: A mesocosm experiment. *Aquat Bot* 52:19-34
- Tutin TG (1936) New species of *Zostera* from Britain. *J Bot* 74:227-230
- Tutin TG (1938) The autecology of *Zostera marina* in relation to its wasting disease. *New Phytol* 37:50-71
- Tutin TG (1942) *Zostera marina* L. *J Ecol* 30:217-226
- Tutin TG, Chater AO, Richardson IBK (1980) *Flora Europaea* vol. 5: Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones). Cambridge University Press, Cambridge
- Tyerman SD (1989) Solute and water relations of seagrasses. In: Larkum AWD, McComb AJ, Shepherd SA (eds) *Biology of Seagrasses*. Elsevier, Amsterdam, p 723-754
- van Beusekom JEE, Fock H, de Jong F, Diel-Christiansen S, Christiansen B (2001) Wadden Sea specific eutrophication criteria. Wadden Sea ecosystem no.14. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshafen, Germany
- van den Hoek C, Admiraal W, Colijn F, de Jonge VN (1979) The role of algae and seagrasses in the ecosystem of the Wadden Sea, a review. In: Wolff WJ (ed) *Flora and vegetation of the Wadden Sea*. Wadden Sea Working Group, Report 3, Leiden, p 9-118
- van der Hoeven PCT (1982) Watertemperatuur en Zoutgehaltewaarnemingen van het Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek (RIVO): 1860 - 1981. Scientific report W.R. 82-8. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt
- van der Kam JEB, Piersma T, Zwarts L (1999) *Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels*. Schuyt & Co., Haarlem
- van der Veer HW, Feller RJ, Weber A, Witte JI (1998) Importance of predation by crustaceans upon bivalve spat in the intertidal zone of the Dutch Wadden Sea as revealed by immunological assays of gut contents. *J Exp Mar Biol Ecol* 231:139-157
- van Goor ACJ (1919) Het zeegras (*Zostera marina* L.) en zijn beteekenis voor het leven der visschen. *Rapp Verh Rijksinst Visscherij* I(4):415-498
- van Goor ACJ (1920) Das Wachstum der *Zostera marina* L. *Ber deutschen Bot Ges* 38:187-192
- van Katwijk MM (1992) Herintroductie van zeegras in de Waddenzee. 1. Mesocosmexperimenten met Groot zeegras (*Zostera marina* L.). Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Schmitz GHW (1993) Herintroductie van Zeegras in de Waddenzee. Beplantingen 1991 en 1992. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

- van Katwijk MM, Vergeer LHT, Schmitz GHW, Roelofs JGM (1997) Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. Mar Ecol Prog Ser 157:159-173
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Hanssen LSAM, den Hartog C (1998) Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. Aquat Bot 60:283-305
- van Katwijk MM (1999) Mogelijkheden van stabilisatietechnieken bij zeegrastransplantatie. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Schmitz GHW, Gasseling AM, van Avesaath PH (1999) The effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina* L. Mar Ecol Prog Ser 190:155-165
- van Katwijk MM, Hermus DCR (2000) Effects of water dynamics on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. Mar Ecol Prog Ser 208:107-118
- van Katwijk MM, Wijgengangs LJM (2000) Enkele voorwaarden voor kieming en zaailingontwikkeling van Groot zeegras (*Zostera marina*). Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM, Hermus DCR, de Jong DJ, Asmus RM, de Jonge VN (2000a) Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. Helgol Mar Res 54:117-128
- van Katwijk MM, Wijgengangs LJM, Hermus DCR (2000b) Stand-plaatsonderzoek Groot zeegras (*Zostera marina* L.). Vergelijking van vier Nederlandse zeegrasvelden. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- van Katwijk MM (in press) Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea; a research overview and management vision. In: Wolff WJ, Essink K, van Leeuwe M, Kellerman A (eds) Proceedings of the 10th International Wadden Sea Symposium. Dutch Ministry of Agriculture Nature Management and Fisheries., Den Haag, p xx
- van Lent F, Verschuure JM, van Veghel MLJ (1995) Comparative study on populations of *Zostera marina* L. (eelgrass): In situ nitrogen enrichment and light manipulation. J Exp Mar Biol Ecol 185:55-76
- Watanabe Y, Terawaki T (1986) Development of techniques for marine macrophyte bed creation in the coastal zone near a power plant: 6. Assessment of a transplanting method to prevent the eelgrass (*Zostera marina* L.) from being washed away. [Abstract] Denryoku Chuo Kenkyusho Hokoku u86008:i-iii-i1-16
- Westerveld S, Verschuren D (1992) Het effect van beschaduwning (tweede groeiseizoen) en het effect van substraattype op *Zostera marina* in een mesocosmexperiment. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen
- Wijgengangs LJM (1991) Onderzoek naar groeivoorwaarden en conditie van Groot zeegras (*Zostera marina* L.) i.v.m. herintroductie in de

Waddenzee. Department of Aquatic Ecology and Environmental Biology, University of Nijmegen

- Williams SL, Ruckelshaus MH (1993) Effects of nitrogen availability and herbivory on eelgrass (*Zostera marina*) and epiphytes. *Ecol* 74:904-918
- Williams SL, Davis CA (1996) Population genetic analyses of transplanted eelgrass (*Zostera marina*) beds reveal reduced genetic diversity in Southern California. *Restor Ecol* 4:163-180
- Williams SL (2001) Reduced genetic diversity in eelgrass transplantations affects both population growth and individual fitness. *Ecol Applic* 11:1472-1488
- Williams TP, Bubbs JM, Lester JN (1994) Metal accumulation within salt marsh environments: a review. *Mar Pollut Bull* 28:277-290
- Wium-Andersen S, Borum J (1984) Biomass variation and autotrophic production of an epiphyte-macrophyte community in a coastal Danish area: I eelgrass (*Zostera marina* L.) biomass and net production. *Ophelia* 23:33-46
- Wohlenberg E (1935) Beobachtungen über das Seegrass, *Zostera marina* L., und seine Erkrankung im nordfriesischen Wattenmeer. Beiträge zur Heimatforschung im Schleswig-Holstein, Hamburg und Lübeck 2:1-19
- Young EL, III (1943) Studies on *Labyrinthula*. The etiologic agent of the wasting disease of eel-grass. *Am J Bot* 30:586-593

Bijlage 1. Zeegraskansenkaart

(Uit de Jonge & de Jong 1999)

Voor de factoren golfintensiteit, stroomsnelheid, zoutgehalte van het water, slibgehalte van de bodem en bodemhoogte ten opzichte van laagwater zijn kaarten gemaakt en zijn de relaties met zeegras zo goed mogelijk gekwantificeerd op basis van experimentele en empirische kennis. Met behulp van GIS¹⁷ zijn de relaties tussen een groeifactor en het voorkomen van zeegras gecombineerd met de factorenkaarten. De kanskaarten per groeifactor zijn tenslotte weer met elkaar gecombineerd tot een potentiële aanwezigheidskaart voor zeegrassen in de Waddenzee. Deze VOORLOPIGE zeegras-potentiekaart is hier bijgevoegd (kaart 4 en 5). Het oppervlak per potentie-klasse is in de bijgaande tabel weergegeven. De potentieklasse 90-100% is vrij groot omdat hierin voor een deel ook de buitenste vakken van de kwelderwerken zijn meegerekend. Deze zijn echter maar ten dele ook daadwerkelijk geschikt voor de vestiging van zeegras.

Potentieklasse	Oppervlak (ha)
0 - 10 %	312.840
10 - 20 %	13.525
20 - 30 %	10.200
30 - 40 %	6.535
40 - 50 %	4.475

Potentieklasse	Oppervlak (ha)
50 - 60 %	2.460
60 - 70 %	4.215
70 - 80 %	1.625
80 - 90 %	1.340
90 - 100 %	11.465

Welke soort daadwerkelijk op een bepaalde plaats zal kunnen groeien wordt in hoge mate bepaald door de lokale omstandigheden, zoals de vochtigheid van de bodem of de aanwezigheid van een laagje water op het wad. Bovendien is bekend dat de ene soort kan optreden als wegbe-reider voor de andere.

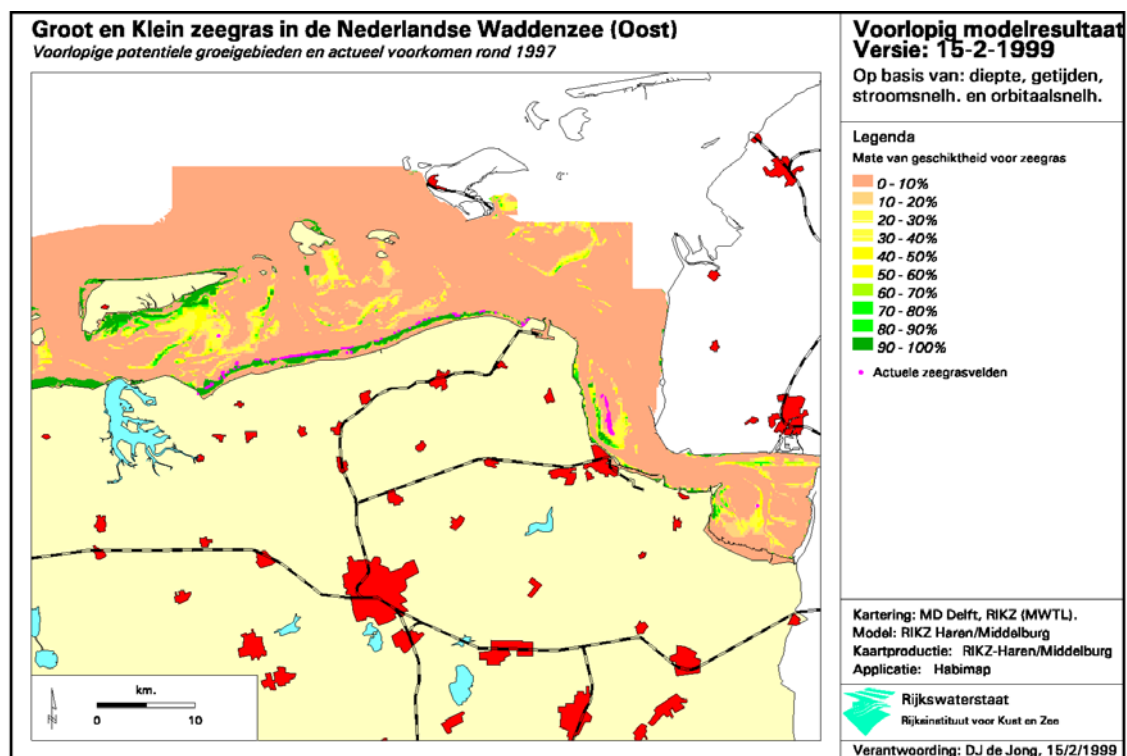
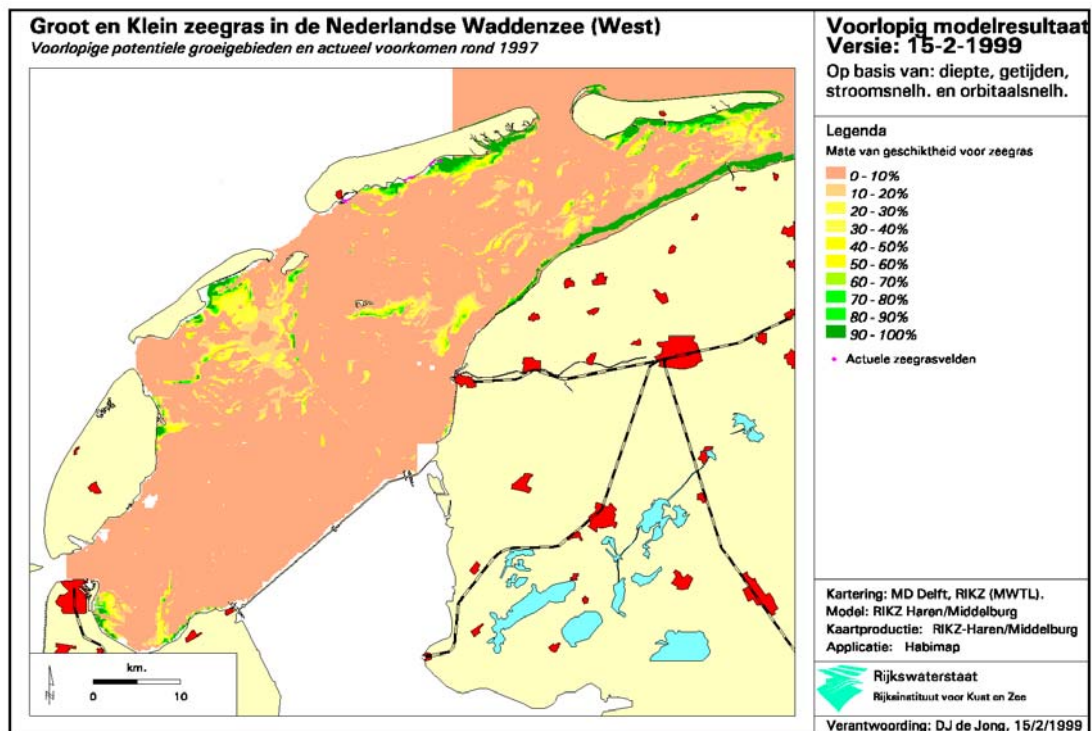
Bij deze zeegraspotentiekaart moeten twee belangrijke kanttekeningen worden geplaatst.

- 1) Een belangrijk onderdeel voor de potentiekaarten wordt gevormd door de factoren stroomsnelheid en golven. Kaarten voor deze factoren moeten met behulp van modelberekeningen worden gemaakt, waarbij voor alle belangrijke windrichtingen een berekening moet worden uitgevoerd. Momenteel is dit echter nog maar voor één windrichting (noordwest) gedaan, waardoor deze factorkaarten nog niet volledig zijn. Dit betekent dat de berekende zeegraspotentiekaart nog een voorlopig karakter heeft. In 2002 moeten de berekeningen op basis van de meest recente dieptekaarten voltooid zijn en omgezet in nieuwe kaarten, zodat een verbeterde zeegraspotentiekaart gemaakt kan worden¹⁸.

¹⁷ GIS: Geografisch Informatie Systeem; een computergestuurde techniek om kaartinformatie te bewerken en te combineren.

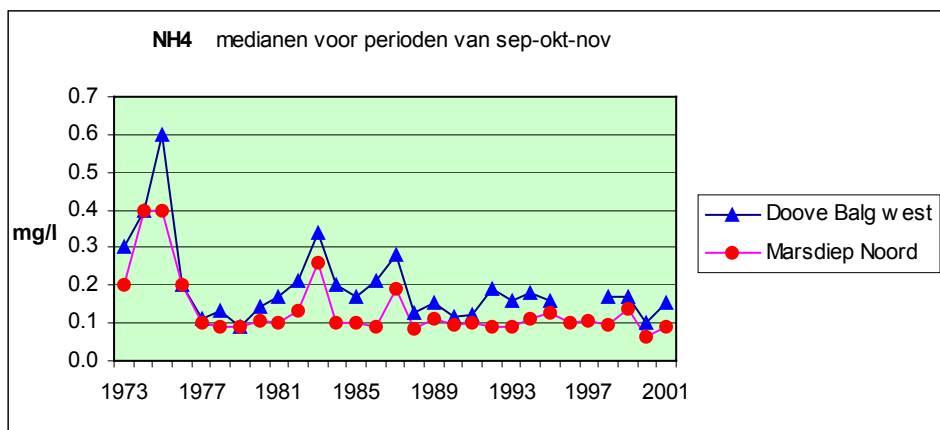
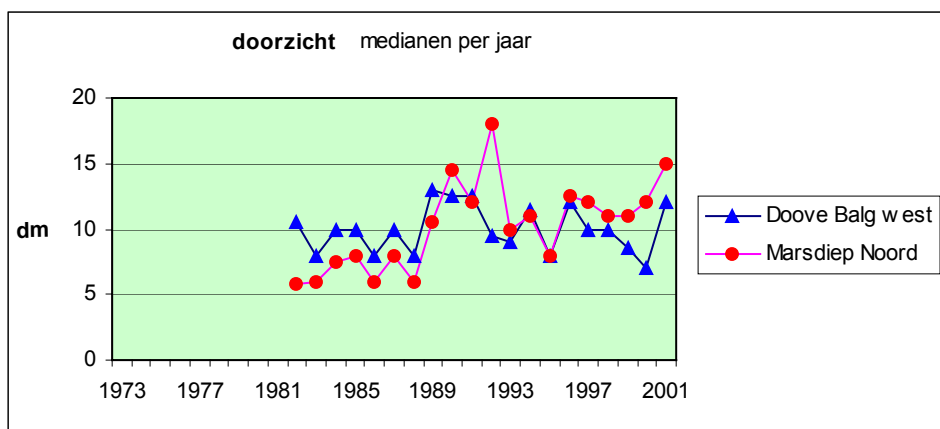
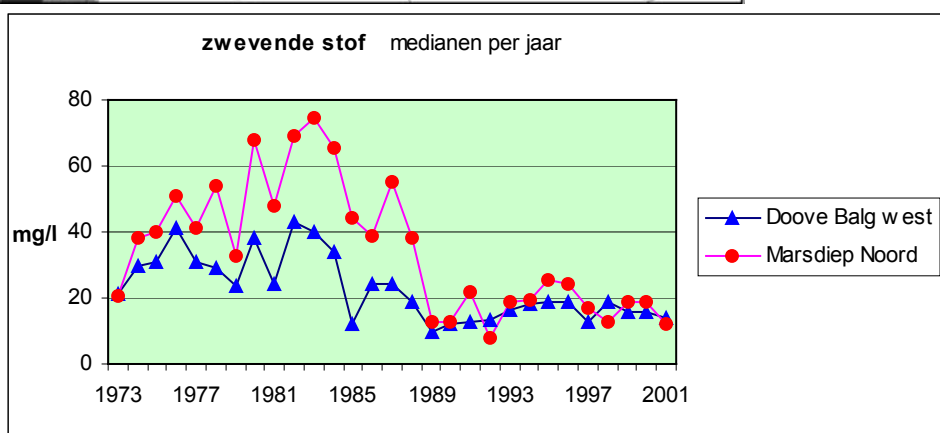
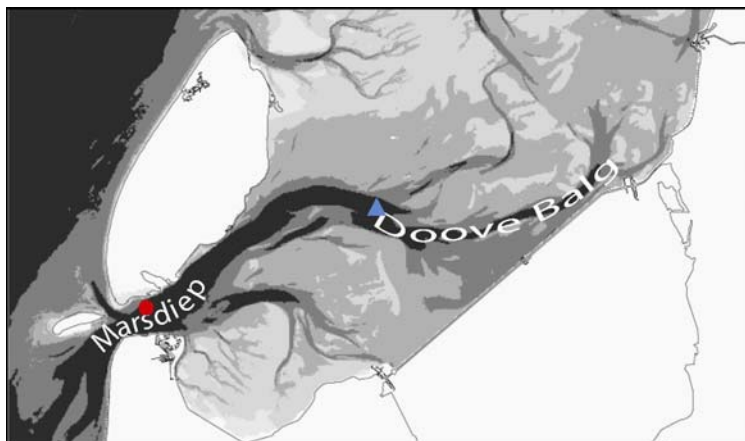
¹⁸ Een voorbeeld van een probleem als gevolg van de nog niet geheel betrouwbare basiskaarten is te zien bij vergelijking van de potentiële aanwezigheid met de actuele aanwezigheid voor het gebied de Paap (Eems). Potentieel zou het zeegras langs de westrand moeten liggen, terwijl het actueel midden op de plaat ligt. Dit is waarschijn-

- 2) De kaarten zijn gemaakt voor Klein zeegras en het 'litoraal' Groot zeegras. Het 'sublitoraal' Groot zeegras kan vermoedelijk pas weer in de Waddenzee terug komen na herintroductie van deze groeivorm vanuit een groeilocatie elders. Hoogst waarschijnlijk zal hiernaar in de naaste toekomst onderzoek worden gestart. Indien een dergelijke herintroductie daadwerkelijk wordt overwogen zal de zeegraspotentiekaart ook hierop aangepast moeten worden.



Kaart 5. Voorlopige zeegraspotentiekkaart Waddenzee-oost

Bijlage 2. Doorzicht, zwevende stof en NH_4



Bijlage 3. Verkenningen op het Balgzand

